



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES PARA
LA REMOCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO SOBRE LODOS
ACTIVADOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA
PROCESADORA DE ALIMENTOS LA IBÉRICA”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: LORENA PAOLA PAREDES PACHECO

TUTOR: ING. MIGUEL SANTILLÁN QUIROGA

Riobamba-Ecuador

2017

©2017, Lorena Paola Paredes Pacheco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES PARA LA REMOCIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO SOBRE LODOS ACTIVADOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA PROCESADORA DE ALIMENTOS LA IBÉRICA, de responsabilidad de la señorita Lorena Paola Paredes Pacheco, ha sido minuciosamente revisado por el Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Fecha

Firma

Ing. Miguel Santillán

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Dra. Yolanda Díaz

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo LORENA PAOLA PAREDES PACHECO soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Lorena Paola Paredes Pacheco.

Yo, Lorena Paola Paredes Pacheco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 19 de Junio del 2017

Lorena Paola Paredes Pacheco

0503853566

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo a mis padres Guido y Melida, modelos de superación y amor verdadero, por haberme dado la vida y el apoyo incondicional durante toda mi formación académica, con sus sabios y acertados consejos han sabido guiarme y darme las fuerzas necesarias para lograr mi meta tan anhelada.

A mi hermano Fernando por estar conmigo en todo momento, por demostrarme su cariño y apoyo, y ser el motivo que me impulsa a superarme cada día.

A mis abuelitos César y Mariana, por sus consejos, amor y cuidado; autores de mis mayores logros y alegrías; y en especial a mi abuelito, que, aunque ya no está físicamente conmigo sé que guía mis pasos y está orgulloso de lo que he logrado.

A mis abuelitos Gerardo y Rosa parte esencial de mi vida desde mi niñez.

A mis familiares y amigos por creer en mí, y manifestarse siempre con palabras y gestos de cariño.

Lorena

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme permitido ser parte del sistema de Educación Superior y brindarme las facilidades necesarias para mi desarrollo académico. Al personal docente de la escuela de Ciencias Químicas por la formación académica impartida y sus altos conocimientos que contribuyen a mi adecuado desempeño profesional.

A mis asesores Ing. Miguel Santillán y Dra. Yolanda Díaz por sus valiosos y acertados aportes y colaboración en el desarrollo del presente Trabajo de Titulación.

A la Doctora Gina Álvarez responsable del laboratorio de calidad de agua por brindarme su apoyo incondicional y los materiales necesarios para el desarrollo de la parte experimental de mi Trabajo de Titulación.

Al Ing. Fernando Cabrera, por el aporte de valiosos conocimientos en la presente investigación, por su paciencia, ayuda física y sentimental brindada a lo largo de mi proyecto.

A mis amigas y amigos, cómplices de los mejores momentos y experiencias vividas, que directa o indirectamente han sido clave importante de la culminación de este proyecto.

Lorena

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Antecedentes de la investigación	5
1.2. Descripción de industria procesadora de alimentos LA IBÉRICA	6
<i>1.2.1. Ubicación de la empresa.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2.2. Proceso productivo</i>	<i>7</i>
1.3. Agua Residual	8
<i>1.3.1. Aguas residuales industriales.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.1.1. Características de las aguas residuales industriales</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2. Tratamiento de las aguas residuales industriales.....</i>	<i>10</i>
<i>1.3.2.1. Físico-químico.....</i>	<i>10</i>
<i>1.3.2.2. Biológico.....</i>	<i>10</i>
1.4. Ácido sulfhídrico.....	10
<i>1.4.1.1. Organolépticas</i>	<i>11</i>
<i>1.4.1.2. Físicas.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.1.3. Químicas.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4.2. Efectos en el medio ambiente</i>	<i>12</i>
<i>1.4.3. Origen del H₂S en aguas residuales.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4.4. Tratamiento convencional de H₂S en aguas residuales.....</i>	<i>12</i>

1.5.	Microorganismos Eficientes (EM™)	13
1.5.1.	Microorganismos del EM™	14
1.5.1.1.	<i>Bacterias fotosintéticas (Rhodospseudomonas palustris)</i>	14
1.5.1.2.	<i>Bacterias ácido lácticas (Lactobacillus spp.)</i>	15
1.5.1.3.	<i>Levaduras (Sacharomyces sp)</i>	16
1.5.2.	Lodo activado	17
1.5.2.1.	<i>Lodo activado como sustrato para microorganismos eficientes</i>	17
1.5.2.2.	<i>Parámetros microbiológicos relevantes en lodos</i>	18
1.6.	Aplicación de microorganismos eficientes en aguas residuales	19
1.6.1.	Eliminación de H₂S con microorganismos eficientes en aguas residuales	19
1.6.1.1.	<i>Eficiencia de remoción</i>	19

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	20
2.1.	Metodología de la investigación	20
2.2.	Tipo de investigación	20
2.2.1.	<i>Por el tipo de investigación</i>	20
2.2.2.	<i>Por la temporalidad</i>	21
2.2.3.	<i>Por el enfoque</i>	21
2.3.	Diseño de la investigación	21
2.4.	Población y muestra	21
2.5.	Técnicas e instrumentos de recogida de datos	22
2.6.	Técnicas e instrumentos de tabulación de datos	22
2.7.	Etapas de la investigación	22
2.7.1.	<i>Primera etapa: Proceso de activación e inoculación de EM</i>	24
2.7.1.1.	<i>Procedimiento para la activación de microorganismos eficientes</i>	24
2.7.1.2.	<i>Caracterización microbiológica del lodo activado.</i>	25
2.7.2.	<i>Segunda etapa: Muestreo del agua residual antes del tratamiento</i>	30
2.7.3.	<i>Tercera etapa: Construcción de la unidad de análisis (Biofiltro)</i>	30
2.7.4.	<i>Cuarta etapa: Establecimiento de condiciones aptas para EM en el Biofiltro</i>	30
2.7.5.	<i>Quinta etapa: Muestreo del agua tratada.</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
3.1.	Proceso de activación e inoculación de microorganismos eficientes.	34
3.2.	Caracterización microbiológica del lodo activado.....	36
3.3.	Control de condiciones aptas para los EM en el lodo activado.....	41
3.4.	Muestreo del agua residual tratada con microorganismos eficientes	44
3.5.	Análisis estadístico – SPSS.....	46
	CONCLUSIONES.....	55
	RECOMENDACIONES.....	56

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Umbral de olor de compuestos olorosos asociados con aguas residuales crudas.....	9
Tabla 2-2: Parámetros microbiológicos del lodo monitoreados en la investigación.....	26
Tabla 3-2: Métodos de análisis	33
Tabla 4-3: Contenido mínimo de UFC del producto EM•1	34
Tabla 5-3: Control de parámetros para la activación de microorganismos eficientes.....	35
Tabla 6-3: Parámetros microbiológicos evaluados en el lodo activado.....	37
Tabla 7-3: Monitoreo diario de pH y T° para el desarrollo de microorganismos eficientes en el lodo activado.....	42
Tabla 8-3: Resultados de los análisis del agua residual M1 (EM).....	45
Tabla 9-3: Resultados de los análisis del agua residual M2 (EM).....	45
Tabla 10-3: Resultados de los análisis del agua residual M3 (EM).....	46
Tabla 11-3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.....	47
Tabla 12-3: Análisis descriptivo de la variable <i>H2S</i> por semanas de tratamiento con EM.....	48
Tabla 13-3: Análisis de Anova de un factor.	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Comportamiento del pH durante la activación de EM.	36
Gráfico 2-3: Comparación del crecimiento de mesófilos aerobios antes y después de aplicar EM.	38
Gráfico 3-3: Comparación del crecimiento de coliformes totales y fecales antes y después de aplicar EM.	39
Gráfico 4-3: Comparación del crecimiento de mohos antes y después de aplicar EM.	40
Gráfico 5-3: Comparación del crecimiento de levaduras antes y después de aplicar EM.	41
Gráfico 6-3: Comportamiento de T° y pH monitoreados diariamente durante 21 días.	43
Gráfico 7-3: Media de la concentración de <i>H₂S</i> durante tres semanas de tratamiento con EM.	50
Gráfico 8-3: Media del pH durante las tres semanas de tratamiento con EM.	51
Gráfico 9-3: Media de la conductividad durante las tres semanas de tratamiento con EM.	53
Gráfico 10-3: Media de la turbidez durante las tres semanas de tratamiento con EM.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación de La Ibérica C.L.	6
Figura 2-1: Principales operaciones en el procesamiento de carnes en La Ibérica.....	7
Figura 3-1: Bacterias fotosintéticas.	14
Figura 4-1: Coexistencia de bacterias fototróficas.....	15
Figura 5-1: Bacterias ácido lácticas.	16
Figura 6-1: Levaduras.....	17
Figura 7-2: Diagrama general del proceso EM.....	23
Figura 8-2: Pasos para activar EM•1	25
Figura 9-2: Procedimiento para el recuento de mesófilos aerobios y coliformes fecales y totales.	27
Figura 10-2: Procedimiento para el cultivo de mohos y levaduras.....	29
Figura 11-3: Medición cuantitativa y cualitativa de parámetros en la activación de EM.....	35
Figura 12-3: Crecimiento en placa de mesófilos, coliformes totales, fecales, mohos y levaduras.	37
Figura 13-3: Muestras de agua residual tratada.	44

ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

%	Porcentaje
NH₃	Amonio
°C	Grados centígrados
cm	Centímetros
DQO	Demanda química de oxígeno
EM	Microorganismos eficientes
EM•1	Microorganismos eficientes al uno porciento
EMRO	Organización para la Investigación de Microorganismos Eficaces
H	Hidrógeno
H₂O₂	Peróxido de hidrógeno
H₂S	Ácido sulfhídrico
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
L	Litro
M1	Muestra uno de agua residual tratada
M2	Muestra dos de agua residual tratada
M3	Muestra tres de agua residual tratada
mg	Miligramo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
N	Nitrógeno
N°	Número
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
P	Fósforo
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
SPSS	Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales
T°	Temperatura
UFC	Unidades formadoras de colonias
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

RESUMEN

El objetivo fue evaluar microorganismos eficientes para la remoción de H_2S sobre lodos activados en las aguas residuales de la industria procesadora de alimentos La Ibérica. Para la parte experimental de la investigación se construyó un biofiltro con microorganismos eficientes, lodo activado y material filtrante. Se inocularon durante tres semanas en lodos activados 21 litros de EM, obtenidos después de un proceso de 7 días de activación y se controlaron parámetros como pH, temperatura, humedad, oxígeno y luz solar en la unidad de análisis para garantizar las condiciones aptas de desarrollo de bacterias fotosintéticas, ácido lácticas y levaduras principalmente contenidos en el producto microorganismos eficientes (EM) activado. En cuanto al agua residual a utilizarse en la investigación su muestreo se realizó en la caja de revisión más cercana al punto de descarga al alcantarillado de La Ibérica, y para su análisis a la salida del biofiltro, tomando una muestra con tres repeticiones cada semana, durante 21 días, para conocer la concentración inicial, intermedia y final de H_2S y su porcentaje de remoción alcanzada ante el tratamiento con microorganismos eficientes. Los resultados de la investigación dictaminaron que los microorganismos eficientes aumentaron la carga microbiana de los microorganismos nativos en el lodo, consiguiendo un mejor crecimiento de la biopelícula y favoreciendo la reproducción de bacterias sulfo-reductores, encargados de la remoción de H_2S , en las aguas residuales industriales, consiguiendo mejores resultados en la tercera semana de tratamiento, al reducir la concentración de H_2S de 3,68 mg/L a 0,45 mg/L, alcanzando un porcentaje de remoción del 70,35%. Concluyendo que mayores tiempos de retención contribuyen a una mejor actuación de microorganismos eficientes en el tratamiento. Es recomendable utilizar tiempos de retención hidráulica mínimo de 6 horas, y máximo de 12 horas, para que los microorganismos presentes en el biofiltro aumenten su capacidad de actuación y existan resultados más favorables.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <MICROBIOLOGÍA>, <MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)>, <REMOCIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO >, <AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES>, <LODO ACTIVADO>, <BACTERIAS FOTOSINTÉTICAS>, <ÁCIDO LÁCTICAS>, <LEVADURAS>, <TRATAMIENTO CON MICROORGANISMOS EFICIENTES>.

ABSTRACT

The objective was to evaluate microorganisms for the removal of H_2S on activated sludge in the wastewater of the food processing industry La Ibérica. For the experimental part of the research, it was constructed a biofilter with efficient microorganisms, activated sludge, obtained after a 7 days activation process and parameters such as pH, temperature, humidity, oxygen and sunlight were monitored in the analysis unit to ensure suitable the product efficient microorganisms (EM) activated. Regarding the residual water to be used in the investigation, its sampling was carried out in the review box closest to the point of discharge to the sewage system of La Ibérica and for its analysis at the exit of the biofilter, taking a sample with three repetitions each week, during 21 days, to know the initial, intermediate and final concentration of H_2S and its percentage of removal reached before the treatment with efficient microorganisms. The results of the investigation showed that efficient microorganisms increased the microbial load of the native microorganisms in the sludge, obtaining a better growth of the biofilm and favoring the reproduction of sulfo-reducing bacteria, responsible for the removal of H_2S , in the industrial wastewater, achieving better results in the third week of treatment, reducing the H_2S concentration from 3.68 mg/L to 0.45 mg/L, achieving a percentage of removal of 70.35%. Concluding that greater retention times contribute to a better performance of efficient microorganisms in the treatment. It is advisable to use hydraulic retention times at least 5 hours and a maximum of 12 hours, so that the microorganisms present in the biofilter increase their performance capacity and there are more favorable results.

KEYWORDS: <BIOTECHNOLOGY>, <MICROBIOLOGY>, <MICROORGANISMS>, <EFFICIENTE (EM) >, <SULFHYDRIC ACID REMOVAL>, <INDUSTRIAL WASTEWATER>, <ACTIVATED SLUDGES>, <PHOTOSYNTHETIC BACTERIA>, <LACTIC ACID>, <YEASTS>, <TREATMENT WITH EFFICIENT MICROORGANISMS>.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales industriales al ser tratadas generan ácido sulfhídrico, causante de la corrosión de los sistemas de alcantarillado. El pH de dichas aguas con rangos por debajo de 5.0 es el principal impacto ambiental, que al ser descargadas directamente a los ríos provocan malos olores y la pérdida de peces y biota para su supervivencia. Además la disolución de H_2S hace que otros contaminantes, tales como sulfuros o metales, incrementen su toxicidad.

En Ecuador las descargas de aguas residuales están reguladas por la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua creadas para la Prevención y Control de la contaminación, sin embargo, según la UNESCO más del 70% de las aguas con altos contenidos de H_2S son vertidas de manera directa sin tratamiento.

En Chimborazo varias de las industrias existentes no cuentan con sistemas propios de tratamiento de aguas residuales con contenidos de ácido sulfhídrico, optando por evacuarlas al sistema de alcantarillado, quebradas y ríos cercanos a sus instalaciones, sin atender a la normativa ambiental vigente.

Actualmente en el Ecuador los procesos utilizados para la remoción de ácido sulfhídrico en las aguas residuales envuelven tratamientos químicos en gran medida como la utilización de coagulantes y productos clorados, que involucran costos elevados y menor accesibilidad hacia todos los sectores; sin embargo, existen otros métodos biotecnológicos que involucran la utilización de microorganismos para su tratamiento biológico.

La Tecnología de Microorganismos Eficientes™ (EM™ por sus siglas en inglés) es un tratamiento natural de menor impacto desarrollado por el Prof. Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, en el sur de Japón, a partir de 1982 (EEAITAJ, 2013, p. 1). Originalmente, fue utilizado como alternativa para los fertilizantes químicos y pesticidas, sin embargo, el uso de la Tecnología EM™, en las dos últimas décadas, se ha expandido de la agricultura al tratamiento de aguas y efluentes, control de malos olores e innumerables tratamientos industriales. (Organic Fruits, 2016, <http://www.organicfruitseirl.com>)

Hoy en día en nuestro país la aplicación de Microorganismos Eficientes ha resultado exitosa en el manejo ambiental. Se conoce que su uso va encaminado al tratamiento de residuos sólidos orgánicos e incluso en vertederos para tratar residuos sólidos urbanos. Sin embargo, no se

muestran los suficientes reportes científicos que aseguren su aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales.

Tomando esta consideración y en la búsqueda de una solución sostenible, accesible y natural frente a la contaminación del recurso hídrico, la presente investigación evalúa la capacidad de los EM (mezcla de bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp*), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*) y levaduras (*Saccharomyces spp*)) para reducir el ácido sulfhídrico de las aguas residuales de una industria procesadora de alimentos, utilizando lodo activado como sustrato.

La investigación realizada está dividida en cuatro capítulos. El primer capítulo consta del marco teórico que contiene la información correspondiente al H_2S y su impacto en el medio ambiente, la aplicación de la tecnología EM en el tratamiento en las aguas residuales, y como sus principales microorganismos se relacionan y actúan para dar solución a dicho problema, además de una evaluación breve de su eficiencia de remoción, en comparación con tratamientos convencionales.

El segundo capítulo describe la metodología, el tipo y diseño de la investigación, su enfoque investigativo, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y de manera detallada las etapas en las que se desarrolló el presente trabajo, considerando la activación e inoculación de EM, construcción de la unidad de estudio, establecimiento de las condiciones aptas de desarrollo de los microorganismos, muestreo del agua tratada con sus respectivos métodos y análisis de laboratorio.

El tercer y último capítulo contiene los resultados, discusión y análisis de resultados; así también como las respectivas conclusiones y recomendaciones que se han venido estableciendo a lo largo del trabajo investigativo.

JUSTIFICACIÓN

La reducción de ácido sulfhídrico de las aguas residuales involucra tratamientos con métodos convencionales, como la utilización de coagulantes o productos clorados con elevados costos, haciéndolos menos accesibles para los sectores que lo requieren. Por tal razón, la importancia de esta investigación radica en implementar nuevas tecnologías que sean naturales, económicas y sobre todo sustentables para el ambiente.

Actualmente el Ecuador financia y promueve la investigación científica para el desarrollo de tecnologías ambientalmente sustentables que permitan prevenir, controlar o reducir la contaminación de los recursos aire, agua y suelo.

Los microorganismos eficientes son una alternativa accesible frente al problema de la contaminación en el área del tratamiento biológico de las aguas residuales, no solo por involucrar precios menores sino también por sus tiempos cortos de remoción. La mezcla de microorganismos contenida en la tecnología EM puede utilizar los compuestos contaminantes presentes en el agua residual como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, reduciendo las concentraciones de contaminantes en el agua.

En relación a los resultados obtenidos y presentados en otras investigaciones se comprueba que los EM han sido capaces de reducir los olores, pH y coliformes de los lodos y las aguas residuales.

El presente trabajo aspira ser un documento con aporte práctico y teórico para las futuras investigaciones en la evaluación y aplicación de microorganismos eficientes para la reducción de ácido sulfhídrico y demás compuestos contaminantes de las aguas residuales industriales en nuestro país.

Al desarrollarse el presente proyecto investigativo los beneficiarios directos serán principalmente las industrias, al obtener un sistema de tratamiento biológico de menor costo que les permita reducir un mayor porcentaje de ácido sulfhídrico antes de su descarga, en menor tiempo y cumpliendo la norma ambiental vigente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los microorganismos eficientes para la remoción de ácido sulfhídrico sobre lodos activados en aguas residuales de la industria procesadora de alimentos La Ibérica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la concentración inicial de H_2S presente en las aguas residuales de una industria procesadora de alimentos.
- Establecer las condiciones aptas de desarrollo para los microorganismos eficientes sobre los lodos activados en un biofiltro.
- Cuantificar la concentración final de H_2S , usando el biofiltro.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la investigación

El ácido sulfhídrico es el compuesto odorífero más común en los sistemas colectores de aguas servidas y en sistemas de tratamiento de aguas residuales. En los sistemas colectores, la mayor parte de la generación del H_2S ocurre en la capa de lodo que se forma en las paredes de la tubería o en los depósitos que se forman en la base de ésta. Si el agua servida contiene poco o nada de oxígeno disuelto, la difusión del H_2S se produce debido a las condiciones anaeróbicas existentes. (Arriagada, 2008, p. 8)

La tecnología EMTM se han utilizado en muchos casos, especialmente para la limpieza de las aguas residuales de los servicios públicos urbanos, ya que tienen la capacidad de reducir la toxicidad biológica de dichas aguas, superando los malos olores, debido a la presencia de bacterias fotosintéticas que producen ácidos orgánicos con menor impacto nocivo en el ambiente (Okuda & Higa, 2005, p. 1).

La mezcla de microorganismos eficientes contenidos en el producto EM secretan ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelantes metálicos que crean un ambiente antioxidante que ayuda al proceso de separación sólido/líquido, el cual es el fundamento de limpieza del agua. (Higa & Chinen, 1998, p. 3)

1.2. Descripción de la industria procesadora de alimentos **LA IBÉRICA**

La Ibérica C.L. es una empresa privada fundada en Riobamba desde 1920 por el señor Juan Alberto Jara Lara, dedicada a la fabricación de productos cárnicos de calidad, en sus diversas formas y variedades, consolidando su marca siendo al momento sus productos distribuidos a nivel nacional. Sus procesos se realizan con total responsabilidad ambiental, estableciendo un plan de manejo ambiental y tratando de mantenerse en un proceso de mejoramiento constante. Cuenta con un equipo apto y capacitado para todas sus operaciones y una maquinaria de origen alemán que, garantiza su durabilidad y calidad de equipos. Actualmente cuenta con un personal de 33 empleados en el área de producción constantemente capacitados. (La Ibérica, 1920, <http://www.laiberica.com>)

1.2.1. Ubicación de la empresa

- Dirección: Colombia 24-16 y Larrea, Riobamba, Ecuador
- Parroquia Urbana: Veloz
- Cantón: Riobamba
- Provincia: Chimborazo
- Coordenadas Latitud: 14030; Coordenadas Longitud: 783910



Figura 1-1: Ubicación de La Ibérica C.L.

Fuente: (Google Earth, 2017)

1.2.2. *Proceso productivo*

En la Figura 1-1 se muestran las principales operaciones en el procesamiento de carnes en La Ibérica, que involucran la generación de aguas residuales, sin considerar la elaboración de algún producto en especial.

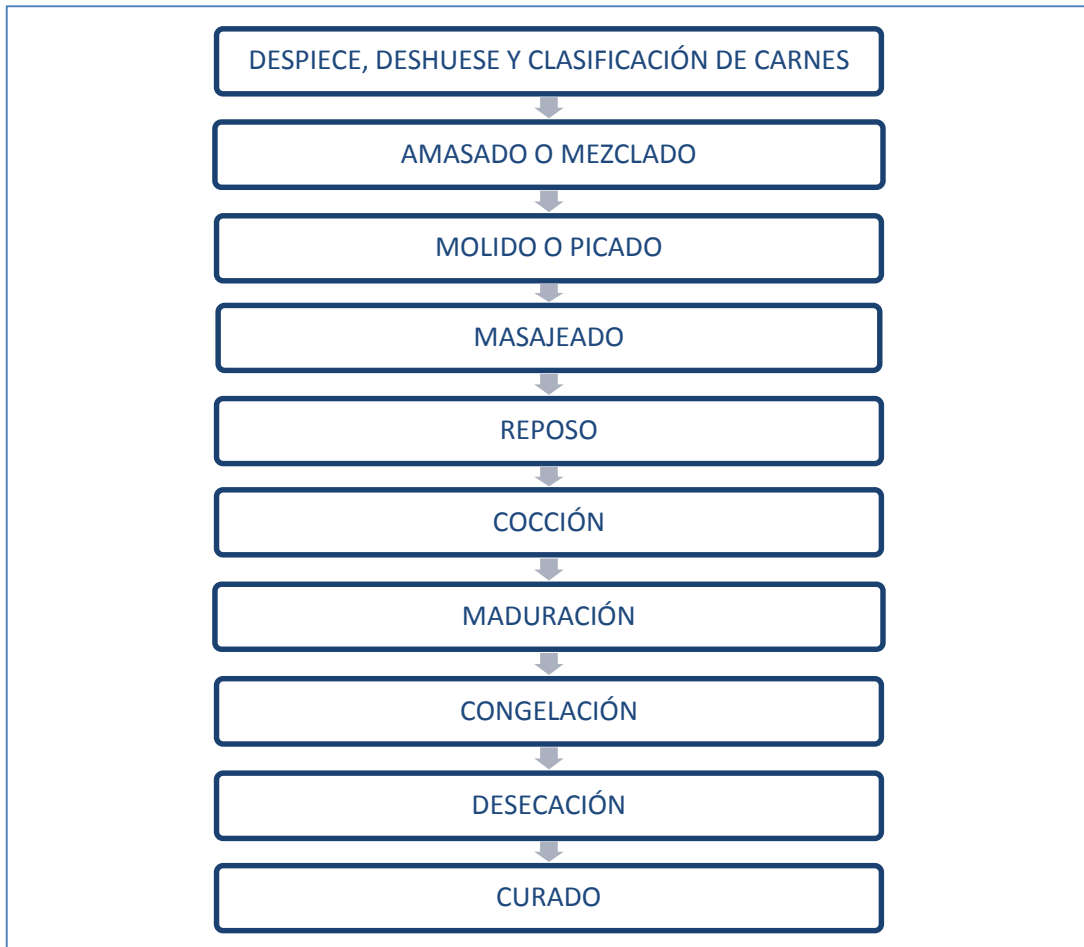


Figura 2-1: Principales operaciones en el procesamiento de carnes en La Ibérica.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

1.3. Agua Residual

El agua residual es el producto de las actividades humanas, que ha sufrido alteraciones en sus características físicas, químicas y biológicas, debido a la introducción de contaminantes químicos, biológicos, municipales, industriales, o de otra índole, que son descargados al sistema de alcantarillado o a cualquier fuente de agua. (Metcalf, 1991, p. 66)

1.3.1. Aguas residuales industriales

Son aquellas que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje. Estas presentan niveles de contaminación mayores al de las aguas residuales urbanas, por lo que se necesita de tratamientos más complejos para su eliminación. (Ambientum, 2002, <http://www.ambientum.com>)

1.3.1.1. Características de las aguas residuales industriales

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas; sin embargo, al hablar de aguas residuales industriales se hace énfasis en las características químicas, ya que estas aguas contienen elementos orgánicos, inorgánicos, y hasta tóxicos, que generan un impacto ambiental. (Cubillos, 2009, pp. 7- 8)

Los compuestos inorgánicos agregados a las aguas residuales industriales durante su uso son principalmente sales, nutrientes, trazas de elementos y tóxicos, siendo estos últimos un tema importante a tratar ya que en aguas residuales industriales se forman gases tóxicos producto de la descomposición biológica de la materia orgánica y de la transferencia desde la atmósfera. Los gases en aguas residuales más importantes a tratar son metano, amoníaco y ácido sulfhídrico. (Morillo, 2012, p. 5)

- Ácido sulfhídrico H_2S , altera el pH de las aguas y produce corrosión de las alcantarillas. El H_2S se produce en condiciones anaerobias cuando predomina la formación de ácidos y no hay producción de metano.

En cuanto a las características físicas se encuentran los sólidos, color y olor siendo este último considerado como el más importante, en aguas residuales de origen industrial.

Tabla 1-1: Umbral de olor de compuestos olorosos asociados con aguas residuales crudas.

Compuestos olorosos	Fórmula química	Peso molecular	Umbral de olor, ppm	Olor característico
Amoniaco	NH_3	17.0	46.8	Amoniacal
Cloro	CL_2	71.0	0.314	
Crotilmercaptano	$CH_3 - CH = CH - CH_2 - SH$	90.19	0.000029	Zorrillo
Dimetilsulfuro	$CH_3 - S - CH_3$	62	0.0001	Vegetales descompuestos
Difenilsulfuro	$(C_6H_5)_2S$	186	0.0047	
Etilmercaptano	$CH_3CH_2 - SH$	62	0.00019	Coles descompuestas
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	34	0.00047	Huevo podrido

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 44)

1.3.2. Tratamiento de las aguas residuales industriales

1.3.2.1. Físico-químico

Este tratamiento es una combinación de métodos físicos y químicos como: coagulación, floculación, filtración y flotación, que engloba los tipos de tratamiento primario y terciario para la depuración de contaminantes contenidos en aguas residuales. (Alba, et al., 2006, pp. 20 - 21)

Los tipos de tratamiento primario y terciario buscan principalmente la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica presentes en el agua residual (mediante la adición de insumos químicos), además de su desinfección y remoción de nutrientes. (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 221)

1.3.2.2. Biológico

Es un tipo de tratamiento secundario y constituye una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales. (Alba, et al., 2006, p. 30)

1.4. Ácido sulfhídrico

En estado puro se trata de un gas incoloro llamado Sulfuro de hidrógeno, con olor característico a huevos podridos sobre todo en bajas concentraciones. Esencialmente es un ácido inorgánico producto de la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno. Cuando se encuentra en estado acuoso se lo conoce como ácido sulfhídrico, mientras que en estado gaseoso se lo llama sulfuro de hidrógeno. (A.P.A, 2009, p. 1)

1.4.1. Características

1.4.1.1. Organolépticas

- Gas incoloro de sabor medianamente dulce.
- Olorífero (Olor característico a huevos podridos).

1.4.1.2. Físicas

Peso molecular: 34,08

Punto de fusión: -82,4°

Punto de ebullición: -60,7°C

Punto de inflamación: gas inflamable

Temperatura de auto-ignición: 260°C

Densidad relativa (agua=1): 1,54

Solubilidad en agua (gr/100ml a 20°C): 2,9

1.4.1.3. Químicas

A temperatura normal, el H_2S es un compuesto estable. Sometido a altas temperaturas se descompone en azufre e hidrógeno. Quema dando una llama azul. Si la combustión es completa, se forma humos tóxicos de anhídrido sulfuroso. Si no lo es, o hay exceso de oxígeno, se produce además un depósito de azufre. Ataca a numerosos metales, formándose sulfuros. En presencia de humedad o en disolución acuosa, es muy corrosivo. Su acidez es de 6,89 pKa. Tiene un momento dipolar de 0,97 D y una solubilidad en agua de 0,33. (A.P.A, 2009, p. 1)

1.4.2. *Efectos en el medio ambiente*

Usualmente es liberado como desecho líquido por las plantas industriales. Al mezclarse con el agua y con altas concentraciones puede causar grandes problemas en el medio ambiente, eliminando gran parte de la vida acuática. Las aguas residuales que contienen ácido sulfhídrico tienen un pH por debajo de los 5.0, lo que provoca la disminución acelerada de las especies de peces y su biota que los mantiene. En general, cuando se libera en forma de gas, permanece en la atmósfera durante un promedio de 18 horas. En este período, el ácido sulfhídrico puede transformarse a anhídrido sulfuroso y a ácido sulfúrico que es el principal causante de la lluvia ácida si lo absorben las nubes de lluvia. (ATSDR, 1999, pp. 1-2)

1.4.3. *Origen del H₂S en aguas residuales*

Se produce generalmente por la reducción biológica de sulfatos y la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Las Bacterias Anaeróbicas Sulfatorreductoras son las responsables de la aparición de ácido sulfhídrico. (Carus Corporation, 2016, <http://es.www.caruscorporation.com>)

1.4.4. *Tratamiento convencional de H₂S en aguas residuales*

Los sistemas de tratamiento para la eliminación de H₂S y en general para compuestos que generen malos olores pueden ser los tratamientos fisicoquímicos (Webster, et al., 1996, pp. 141-147). Por más de 50 años, la manera convencional de ocuparse de los olores que emanan de las plantas de tratamiento de aguas residuales es la de pre-tratar el afluente cloacal con cloro. Un número creciente de plantas de tratamiento ha revisado esta situación y eligieron una respuesta distinta: peróxido de hidrógeno (H₂O₂). (Leson & Smith, 1997, pp. 556-562)

El tratamiento con peróxido de hidrogeno va encaminado para cualquier industria que genere aguas residuales en su proceso y puede ser usado para pre-oxidación y precipitación de hierro y manganeso de oxidación de la materia orgánica con el fin de facilitar la clarificación de agua como la primera etapa de tratamiento para diversos fines en la industria, tales como: la

incorporación a las torres de productos de refrigeración y aire acondicionado, calefacción por calderas, instalaciones de lavado, productos y emisiones gaseosas. (SUN S.A., 2016, <http://www.sunsa.cl>)

En el tratamiento de efluentes industriales se puede utilizar para la reutilización de aguas o para descargar en ríos o en el mar de acuerdo con la normativa ambiental. Y en diversos sectores, como la minería, la metalurgia extractiva, siderúrgica, química, petroquímica, petróleo y gas, el peróxido de hidrógeno se utiliza para la eliminación/degradación de cianuros, sulfuros, fenoles, hierro, manganeso, además de la reducción de la DQO potenciando la oxidación del tratamiento biológico de los compuestos biodegradables. (SUN S.A., 1990, <http://www.sunsa.cl>)

Sin embargo, muchos investigadores coinciden en afirmar que los tratamientos fisicoquímicos son más costosos que los biológicos y reducen la capacidad de implementar procesos más amigables con el medio ambiente. (Leson & Winer, 1991, pp. 1-11)

1.5. Microorganismos Eficientes (EM TM)

El término “microorganismos eficientes” o en inglés *efficient microorganisms* (EM TM) se usa para describir cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos que pueden ser aplicados como inoculantes para aumentar la diversidad microbiana (Higa & Parra, 1994, p. 17). La tecnología de Microorganismos Eficientes (comúnmente denominada Tecnología EM TM) fue desarrollada en los años 70 por el Doctor Teuro Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. (Sangakkara, 2002, p. 1)

El inicio de la tecnología se basó en la mezcla de una multitud de microorganismos, y posteriormente se refinó para incluir tres tipos principales de organismos comúnmente encontrados en todos los ecosistemas incluyendo poblaciones predominantes de bacterias y levaduras de ácido láctico y un menor número de bacterias fotosintéticas, actinomicetos y otros tipos de organismos. Todos estos son mutuamente compatibles entre sí y pueden coexistir en cultivo líquido. (Higa & Parra, 1994, p. 17)

1.5.1. *Microorganismos del EM™*

1.5.1.1. *Bacterias fotosintéticas (Rhodopseudomonas palustris)*

Las bacterias fotosintéticas son microorganismos independientes y autosuficientes, que sintetizan sustancias útiles de la materia orgánica y/o gases dañinos en el aire y agua (ej: ácido sulfhídrico) con el uso de luz solar y calor del suelo como fuentes de energía (EM Research Organization, 2016, p. 3). Dentro de gremio de organismos fotosintéticos que hacen parte de EM se encuentra *Rhodopseudomonas palustris*. Estas son bacterias fototróficas facultativas clasificadas dentro de las bacterias púrpura no del azufre, el cual comprende un grupo variado, tanto en morfología, filogenia y su tolerancia a diferentes concentraciones de azufre. (Holt, 2000, p. 787)



Figura 3-1: Bacterias fotosintéticas.

Fuente: (EM Research Organization, 2016, p. 3)

Las diferentes especies de los microorganismos eficientes (Bacterias fototróficas, ácido láctico y levaduras) tienen sus respectivas funciones. Sin embargo, las bacterias fototróficas se pueden considerar como el núcleo de la actividad del EM. Las bacterias fototróficas refuerzan las actividades de otros microorganismos. A este fenómeno se lo denomina “coexistencia y coprosperidad”. (EM Research Organization, 2016, p. 4)

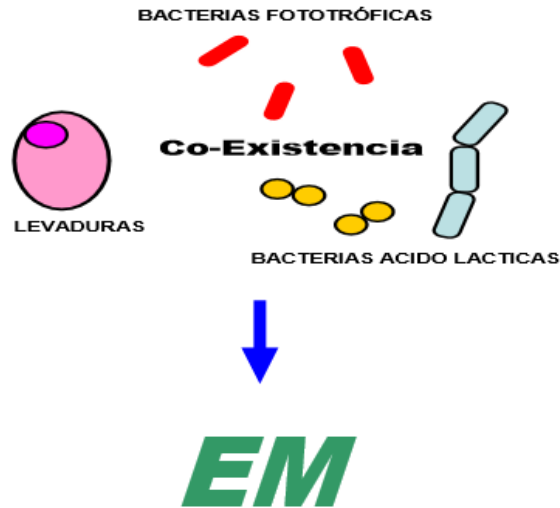


Figura 4-1: Coexistencia de bacterias fototróficas.

Fuente: (EM Research Organization, 2016, p. 4)

1.5.1.2. *Bacterias ácido lácticas (Lactobacillus spp.)*

Dentro de los microorganismos que conforman el multicultivo EM los más abundantes son las bacterias ácido lácticas. Estos microorganismos producen ácido láctico, compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos y removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta. (EM Research Organization, 2016, p. 3)

No se tiene gran información precisa acerca de la forma en la cual actúan las bacterias ácido lácticas en el tratamiento de las aguas contaminadas, pero teniendo en cuenta sus características, se plantea que al disminuir el pH se genera una inhibición de patógenos. Sin embargo, no sólo el ácido láctico es responsable de los efectos antimicrobianos generados por los lactobacilos. Parte del comportamiento antagónico frente a los patógenos del ácido láctico se debía a la producción de péptidos antimicrobianos y compuestos de bajo peso molecular, como la bacteriosina clase I, y la nisina, péptido de 34 carbonos que es activo frente a la mayoría de las bacterias Gram positivas. (Carillo & Huacollo, 2011, p. 17)

En lo que se refiere a los requerimientos de crecimiento para el grupo de las bacterias ácido lácticas, se encuentran como generalidades que estas son bacterias microaerofílicas, razón por la

que debe procurarse que la incubación se realice en una atmósfera con 5% de CO₂. (Carillo & Huacollo, 2011, p. 17)



Figura 5-1: Bacterias ácido lácticas.

Fuente: (EM Research Organization, 2016, p. 3)

1.5.1.3. Levaduras (*Sacharomyces sp*)

El tercer grupo dentro de los gremios de microorganismos presentes en EM son las levaduras. Son importantes debido a que las sustancias bioactivas como las hormonas y las enzimas producidas por las levaduras promueven la división activa celular y radical. Estas secreciones también son sustratos útiles para el EM como las bacterias ácido lácticas y actinomicetes. (EM Research Organization, 2016, p. 4)

El tipo *Saccharomyces* emplean diversas fuentes de carbono y energía. En primer lugar, se encuentran la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructosa, galactosa, maltosa y suero hidrolizado, ya que *Saccharomyces* no puede asimilar lactosa. También puede utilizarse etanol como fuente de carbono. El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoníaco, urea o sales de amonio, aunque también se pueden emplear mezclas de aminoácidos. Ni el nitrato ni el nitrito pueden ser asimilados. (Harvey, et al., 1985, p. 250)

Aparte de carbono y nitrógeno los macroelementos indispensables son el fósforo que se emplea comúnmente en forma de ácido fosfórico y el Mg^{+2} como sulfato de magnesio, que también provee azufre. Finalmente, también son necesarios el Ca^{+2} , Fe^{+2} , Mg^{+2} , Cu^{+2} y Zn^{+2} como elementos menores. (Harvey, et al., 1985, p. 250)



Figura 6-1: Levaduras.

Fuente: (EM Research Organization, 2016, p. 3)

1.5.2. Lodo activado

Es el lodo resultante del tratamiento biológico de aguas residuales, que se caracteriza por la interacción de distintos tipos de microorganismos. El lodo activado está en forma de flóculos que contienen biomasa y minerales absorbidos y almacenados. (Perez, 2016, p. 22)

1.5.2.1. Lodo activado como sustrato para microorganismos eficientes

La característica principal de los lodos activados es el contenido en microorganismos, que utilizan nutrientes en solución para el crecimiento celular contribuyendo a la limpieza del agua residual. (Lenntech, 1998, <http://www.lenntech.es>)

El lodo contiene gran cantidad de materia orgánica, que favorece el crecimiento y multiplicación de las bacterias vivas contenidas en el producto EM. Al utilizar el lodo activado como sustrato de los microorganismos eficientes la concentración de nutrientes y microorganismos benéficos aumenta, reduciendo automáticamente el volumen de lodo y la cantidad de microorganismos patógenos, por lo que se puede utilizar como abono para uso agrícola al final de su tratamiento. (Vargas, 2011, <http://vmemprotec.blogspot.com>)

1.5.2.2. *Parámetros microbiológicos relevantes en lodos*

Existen parámetros microbiológicos que son relevantes y que se realizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, la mayoría de estos parámetros se encuentran referenciados en Normas Técnicas y Decretos, como es el caso de los Microorganismo Mesófilos Aerobios, Coliformes fecales y totales, Mohos y Levaduras que se mencionan en la Norma Técnica Ecuatoriana. (Galvis & Rivera, 2013, p. 33)

- **Microorganismos mesófilos aerobios:** El termino mesófilo, se refiere a un organismo cuya temperatura de crecimiento óptima está entre los 15 y los 35°C. El hábitat de los organismos mesófilos incluye el suelo, el lodo, el cuerpo de un animal, etc. Su temperatura óptima de crecimiento se encuentra en los 37 °C. (Galvis & Rivera, 2013, p. 33)

- **Coliformes totales y fecales:** Los coliformes son bacilos cortos que se han definido como bacterias aerobias o anaerobias facultativas. El grupo de coliformes fecales incluye a los coliformes capaces de crecer a temperatura elevada 44.5 o 45°C. Escherichia Coli, la temperatura óptima de crecimiento del microorganismo es de 37°C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40°C. Su pH óptimo de crecimiento es de 7.0 a 7.5 con un pH mínimo de crecimiento de valor de 4.0 y un pH máximo de crecimiento de valor de 8.5. (Galvis & Rivera, 2013, p. 33)

- **Mohos:** son hongos que viven en condiciones entre 2 - 9 de pH. Su pH óptimo es aproximadamente 5.6. Aun cuando su hábitat natural es en humedad, cuando el entorno se reseca los mohos forman esporas y entran en un modo de resistencia. La mayoría de los mohos pueden considerarse mesófilos, es decir crecen bien a la temperatura ambiente. La temperatura óptima para la mayoría de ellos es de unos 25 a 30°C, pero algunos crecen bien a 35-37°C. (Galvis & Rivera, 2013, p. 34)

- **Levaduras:** Las levaduras son hongos. La mayor parte de las levaduras comúnmente encontradas crecen mejor en medios en los que dispone de gran cantidad de agua. Pero debe admitirse que la mayoría de estas levaduras necesitan menos humedad que la generalidad de las bacterias. El crecimiento de la mayoría de las levaduras se ve favorecido por un pH ácido próximo a 4 - 4.5 y no se desarrollan bien en medio alcalino a menos que se hayan adaptado al mismo. (Galvis & Rivera, 2013, p. 34)

1.6. Aplicación de microorganismos eficientes en aguas residuales

La razón principal de utilizar microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales se basa en que desde su introducción y aplicación en aguas el sistema ha sido muy estable y capaz de mantener la calidad del agua a un alto nivel. (Higa & Chinen, 1998, p. 1)

Estudios realizados por Silva & Silva (1995) demostraron que la aplicación de microorganismos eficientes en aguas residuales, utilizando el sistema de lodos activados disminuyó el consumo de oxígeno al igual que la producción de lodos y malos olores. Por otra parte, Szymanski & Patterson (2013), evaluaron parámetros como alcalinidad, pH, conductividad, ST, SS Y SD antes y después de probar EM sobre aguas residuales, demostrando la disminución de dichos parámetros y probaron su eficiencia en la reducción de olores y cantidad de lodos generados durante el tratamiento de las aguas residuales.

1.6.1. Eliminación de H_2S con microorganismos eficientes en aguas residuales

El H_2S con concentraciones entre 15 – 50 mg/L, favorecen el crecimiento de bacterias *Rhodopseudomonas palustris*, consideradas como bacterias reductoras de azufre. El proceso de remoción de H_2S se puede dar por dos rutas: como donador de electrones en la fotosíntesis anoxigénica y como donador en el metabolismo quimilitotrófico, y que en los dos casos el producto final es la oxidación del azufre hasta SO_4 . (Madigan, et al., 2006, p. 11)

1.6.1.1. Eficiencia de remoción

Según varios autores la eficiencia del proceso es muy reducida ya que ésta oscila entre el 50 y 60 %, de remoción de ácido sulfhídrico, porcentaje que resulta insuficiente para que los olores desagradables sean imperceptibles. La efectividad del proceso de filtración utilizando el biofiltro, depende en gran medida de la tasa de crecimiento y adaptación de los microorganismos reductores del ácido sulfhídrico en el medio filtrante, controlando sus variables en el proceso. (Galicía, et al., 2002, p. 5)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología de la investigación

En el presente trabajo de investigación se utilizó el método descriptivo y aplicativo.

Descriptivo, porque se pretende evaluar y explicar cómo se manifiestan los microorganismos eficientes sobre los lodos activados y como las variables a utilizarse en este proceso actúan en la remoción de H_2S de las aguas residuales de una industria procesadora de alimentos.

Aplicativo, porque se cimentó en análisis de laboratorio.

2.2. Tipo de investigación

2.2.1. Por el tipo de investigación

Aplicada a las ciencias ambientales, y desarrollada en el laboratorio, con el fin directo de reducir las concentraciones de ácido sulfhídrico de las aguas residuales, con la aplicación de microorganismos eficientes activados como factor de análisis.

2.2.2. *Por la temporalidad*

Longitudinal, porque los datos se recolectan a lo largo de la investigación de manera consecutiva en periodos de tiempo establecidos, permitiendo el seguimiento del mismo grupo de variables, durante todo el estudio.

2.2.3. *Por el enfoque*

Mixto (cualitativo y cuantitativo). Cualitativo al realizarse la caracterización microbiológica del lodo, identificando los microorganismos tan solo por su presencia o ausencia, es decir tomando datos sin valor numérico, y cuantitativo al recolectar datos medibles de las variables respuesta (H_2S , pH , *conductividad* y *turbidez*), que facilitaron el manejo de los datos estadísticos.

2.3. *Diseño de la investigación*

El diseño de la investigación es Experimental, porque se manipuló las variables predominantes en el proceso, permitiendo analizar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes, para comprobar la efectividad del tratamiento y de la tecnología utilizada.

2.4. *Población y muestra*

La población es el número total de unidades experimentales analizadas de los tratamientos físicos, químicos y microbiológicos, a lo largo del estudio, que consta de tres muestras, cada una con tres repeticiones, considerando un total de 9 unidades experimentales, tomando para cada muestra 1 litro de agua residual.

2.5. Técnicas e instrumentos de recogida de datos

- Técnica: observación

- Instrumentos: inventario

2.6. Técnicas e instrumentos de tabulación de datos

- Técnica: se utilizó pruebas no paramétricas Kolmogorov-Smirnov de una muestra y ANOVA de un factor, que nos permitirá tabular, analizar e interpretar los datos cuantitativos, haciendo uso de la estadística, que posteriormente nos llevará al desarrollo de las conclusiones, que comprueben los objetivos planteados y afirmen o nieguen la hipótesis de la investigación.

- Instrumentos: Programa SPSS

2.7. Etapas de la investigación

Para una mejor comprensión se presenta un diagrama general del proceso, el cual se divide en 5 etapas.

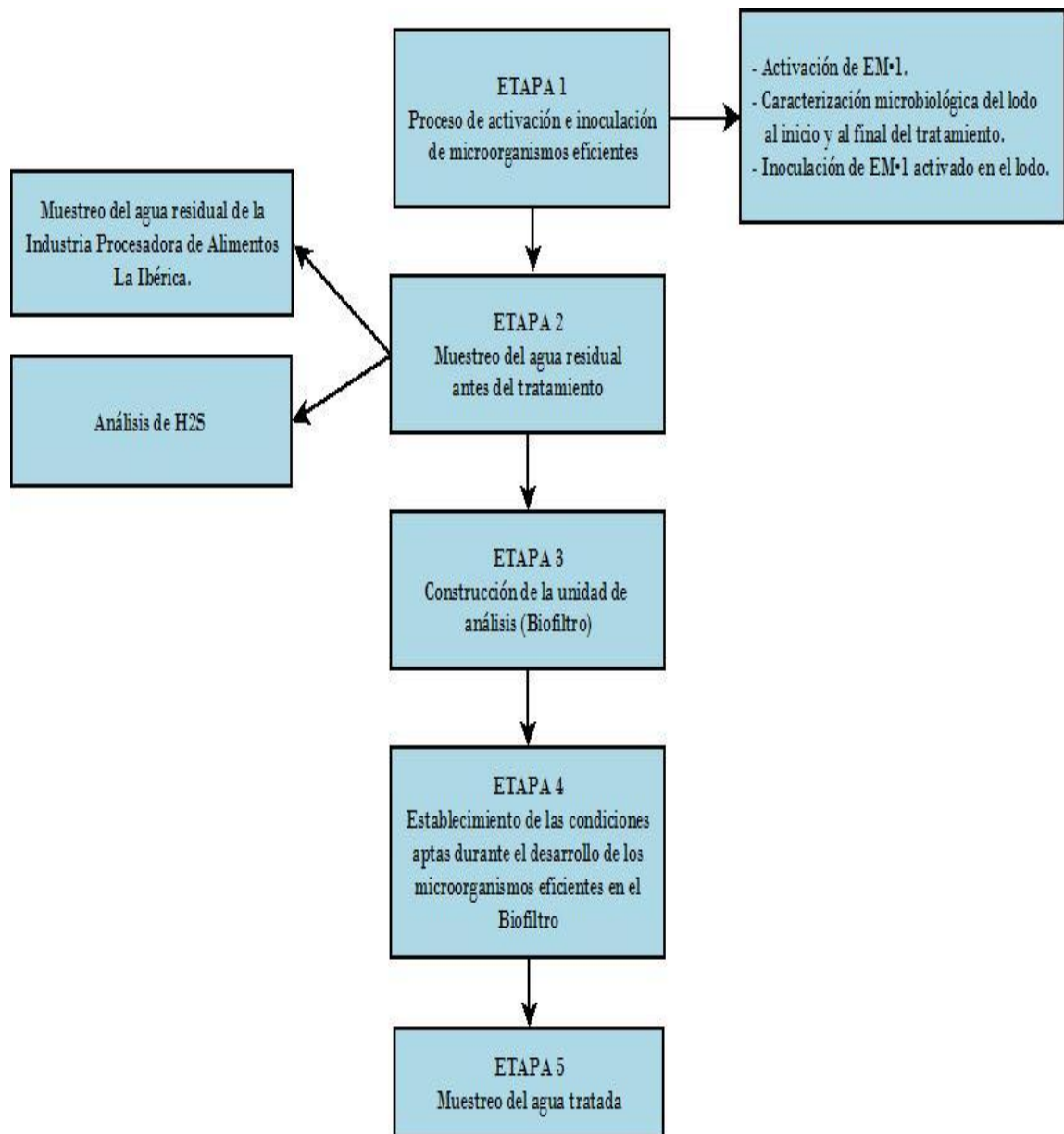


Figura 7-2: Diagrama general del proceso EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

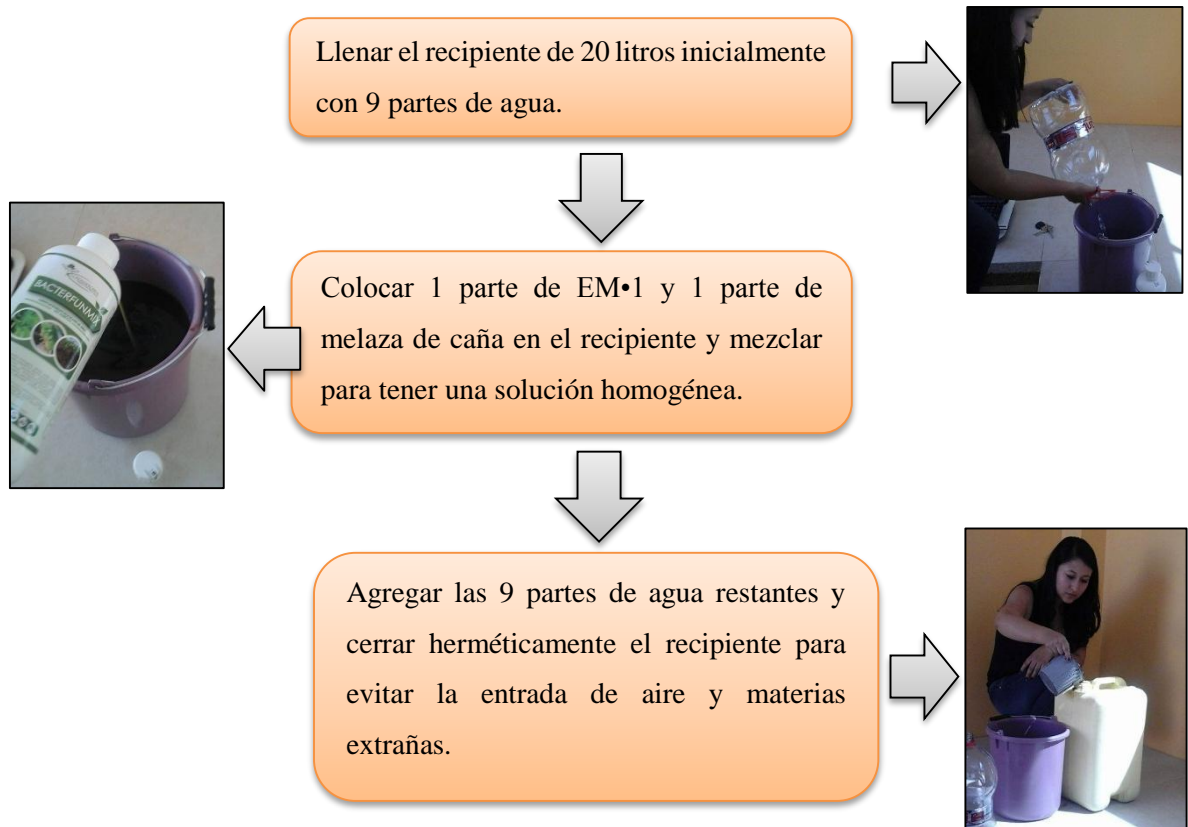
2.7.1. Primera etapa: Proceso de activación e inoculación de microorganismos eficientes.

2.7.1.1. Procedimiento para la activación de microorganismos eficientes.

Los microorganismos del producto EM•1 se encuentran en estado de latencia (inactivo), para poder activarlos se siguió la “Guía Técnica de la Tecnología EM” de EMRO (EM Research Organization Inc.) siendo AGEARTH su representante oficial en Ecuador.

Para 20 litros de EM•1 activado, se necesitó una (1) parte del producto EM•1, una (1) parte de melaza de caña y dieciocho (18) partes de agua limpia sin cloro.

Posteriormente los pasos a seguir fueron los siguientes:



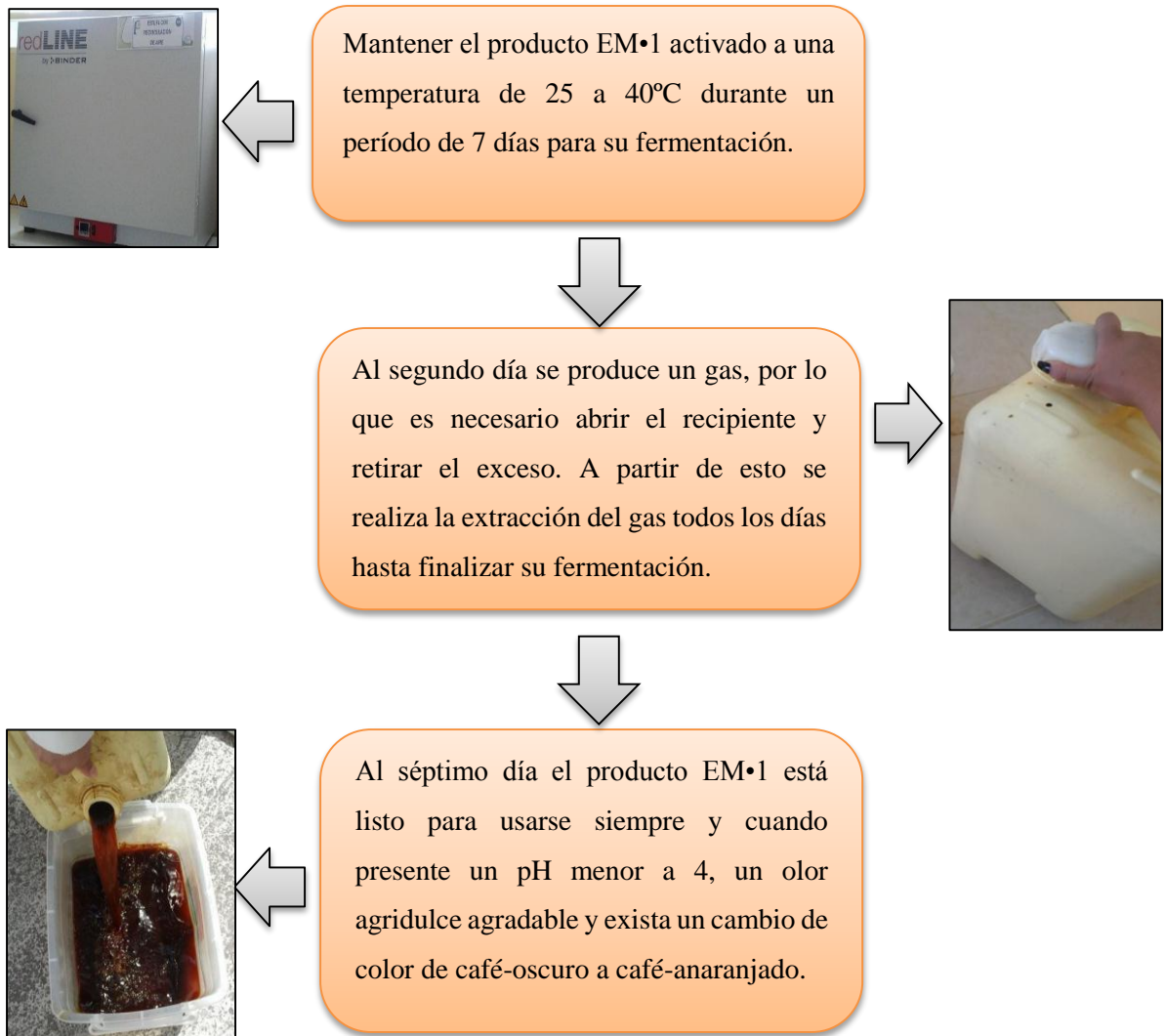


Figura 8-2: Pasos para activar EM•1

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

2.7.1.2. *Caracterización microbiológica del lodo activado.*

Se realizó la caracterización microbiológica del lodo utilizado como sustrato, antes y después de incorporar los microorganismos eficientes a la unidad de análisis, para describir la concentración tanto de patógenos: mohos y levaduras, coliformes fecales y totales como de microorganismos mesófilos aerobios presentes. Para la evaluación de estos parámetros microbiológicos se utilizó la misma metodología, variando únicamente en los medios de cultivo, las placas utilizadas, tipo de siembra y temperatura de incubación descrita en la Tabla 1-2.

Tabla 2-2: Parámetros microbiológicos del lodo monitoreados en la investigación.

Microorganismos	Métodos	Medio de cultivo	Tiempo de incubación	Temperatura de incubación
Mesófilos aerobios	Standard Methods (NTE INEN 1205-2013)	Compact Dry TC	48 (h)	37°C
Coliformes totales	Standard Methods (NTE INEN 1205-2013)	Placa petrifilm	48 (h)	37°C
Coliformes fecales	Standard Methods (NTE INEN 1108-2011)	Placa petrifilm	48 (h)	37°C
Mohos	NTE INEN 1529-10:2013	Agar Sabouraud	3 días	28°C
Levaduras	NTE INEN 1529-10:2013	Agar Sabouraud	3 días	28°C

Fuente: (INEN, 2013. Servicio Ecuatoriano de Normalización)

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

- Cultivo de microorganismos mesófilos aerobios y coliformes totales y fecales.

Para el cultivo de microorganismos mesófilos aerobios y coliformes fecales y totales la metodología a seguir fue la misma, variando únicamente en el medio de cultivo a utilizarse, como se muestra en la figura 9-2

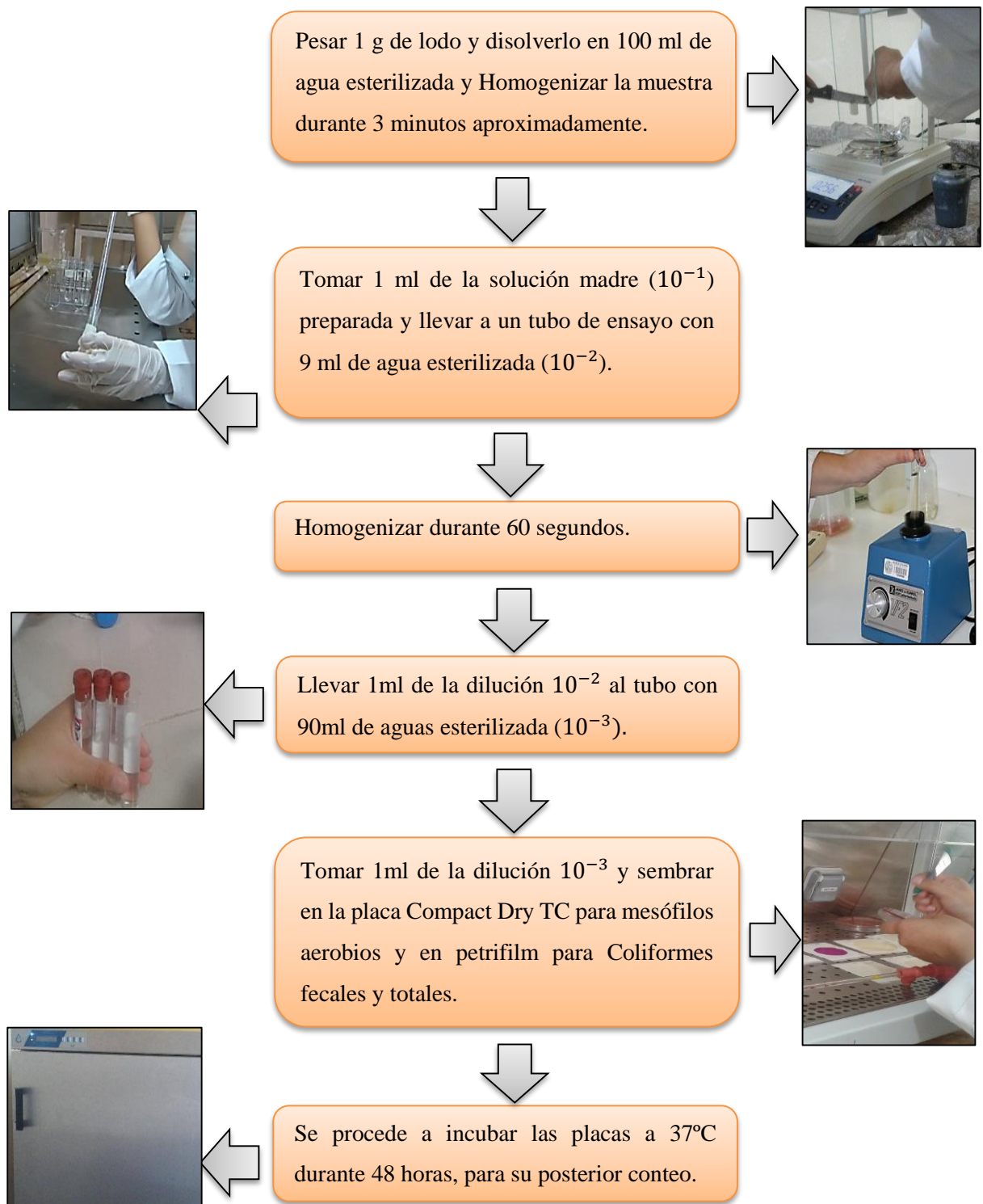
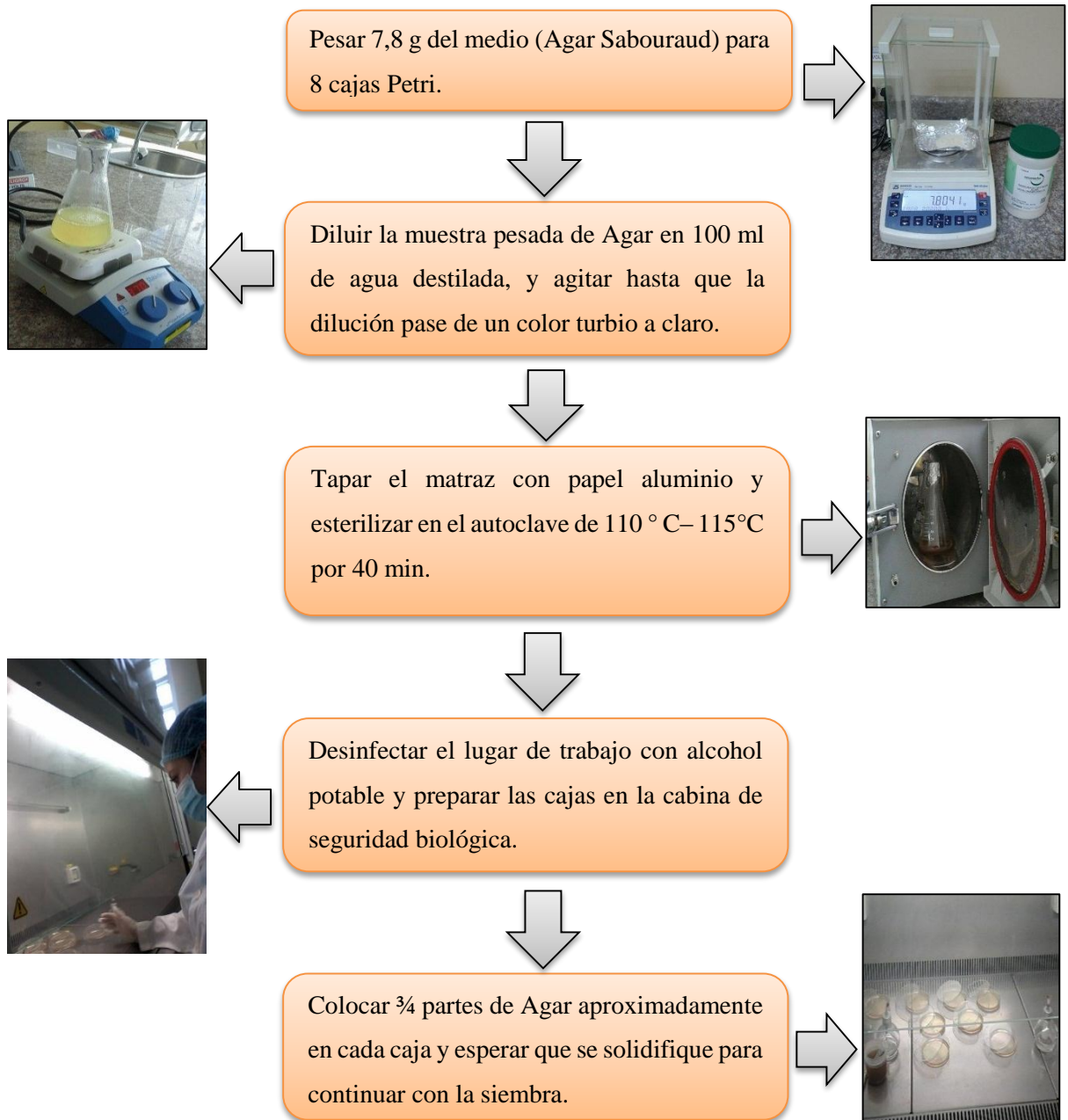


Figura 9-2: Procedimiento para el recuento de mesófilos aerobios y coliformes fecales y totales.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

- Cultivo de mohos y levaduras

Para mohos y levaduras se prepararon 8 cajas petri con Agar Sabouraud siguiendo el procedimiento establecido en la figura 9-2, posteriormente se procedió a la identificación de mohos y levaduras determinando su presencia o ausencia.



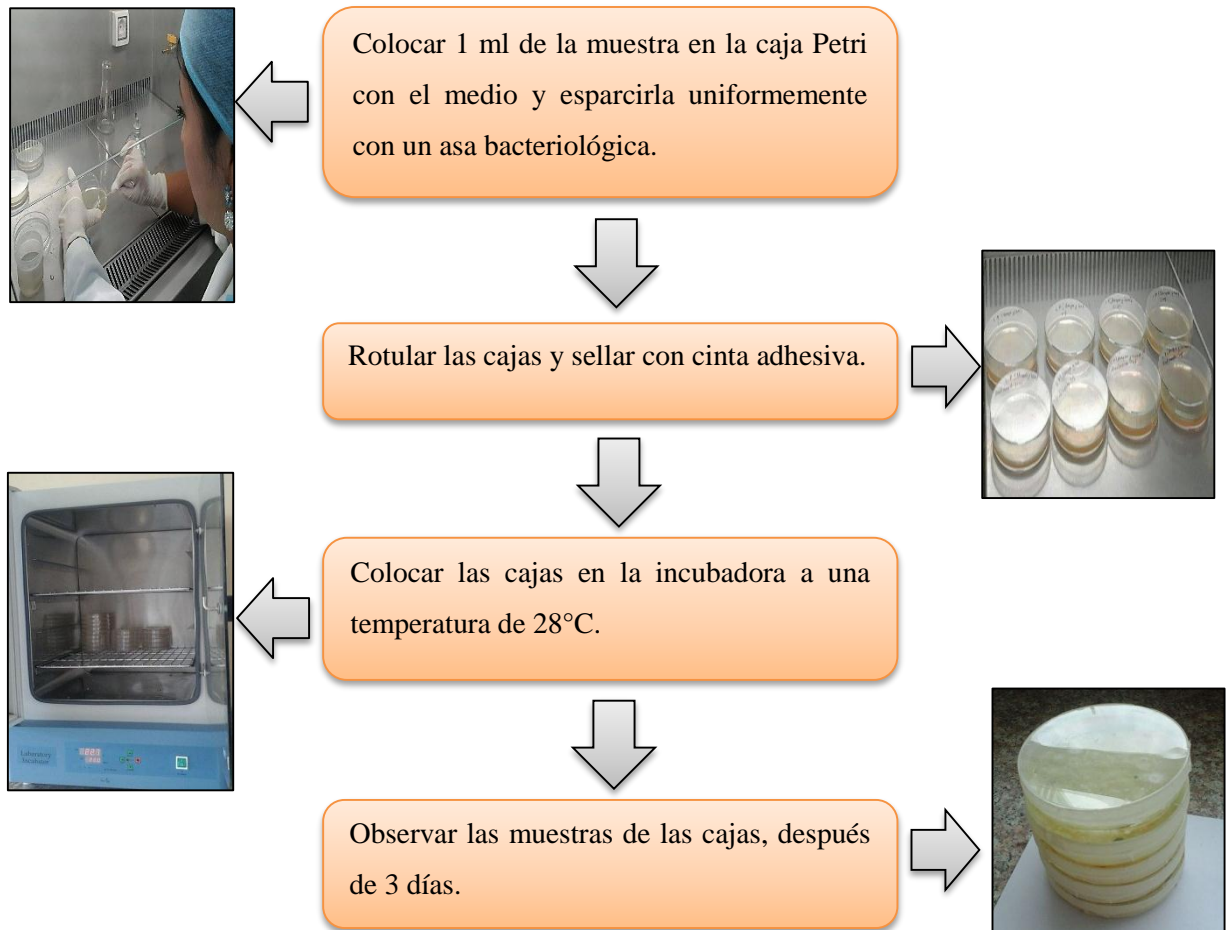


Figura 10-2: Procedimiento para el cultivo de mohos y levaduras.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

2.7.1.3. Inoculación de microorganismos eficientes en el lodo activado.

Una vez identificados los microorganismos existentes, se procedió a inocular el EM activado en el lodo. Durante las tres semanas en las que se llevó a cabo el tratamiento, se inoculó 1 litro de EM activado, cada 6 horas en el lodo y se revolvió cada semana para que ingrese el aire a la mezcla que contribuirá al desarrollo de los microorganismos.

2.7.2. Segunda etapa: Muestreo del agua residual antes del tratamiento

Para el muestreo del agua residual de la Industria Procesadora de Alimentos La Ibérica, se utilizó 5 recipientes de plástico, de 6 litros cada uno. La toma del agua se llevó a cabo en la caja de revisión más cercana al punto de descarga al alcantarillado, y su traslado fue inmediato para su posterior refrigeración y almacenamiento.

Para los análisis de laboratorio, se tomaron 3 muestras antes de hacer pasar el agua residual por la unidad de análisis (EM activado + lodos + material filtrante), para conocer la concentración inicial de H_2S presente en las aguas a tratarse. Se muestreó 1 litro en frascos plásticos previamente lavados y enjuagados 3 veces con las muestras y se utilizó un cooler para su traslado al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA.

2.7.3. Tercera etapa: Construcción de la unidad de análisis (Biofiltro)

La unidad se construyó en base a las dimensiones establecidas de un biofiltro a escala de laboratorio diseñado por (Higuera, et al., 2009, pp. 4-9) para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros. Con esta aclaración, se procedió a la construcción de un biofiltro con las siguientes dimensiones: altura 37.2 cm, largo 32 cm y ancho 31.3 cm. El material utilizado fue vidrio transparente de 8 mm de espesor con un orificio de 8 cm de diámetro en el centro de su base para la salida del agua. Se colocó además una malla para evitar el paso de sólidos, una llave de paso para controlar el flujo de agua, cuatro mangueras con orificios colocadas en cada esquina del biofiltro para la aireación de los lodos y una manguera con agujeros simétricos para que el agua se distribuya hacia toda la unidad de análisis que contiene lodos activados, EM y un material filtrante.

2.7.4. Cuarta etapa: Establecimiento de las condiciones aptas para los microorganismos eficientes en el Biofiltro.

Una vez construida la unidad de análisis se procedió a monitorear las variables de control aptas dentro del biofiltro para el desarrollo y multiplicación de los microorganismos eficientes,

considerándose como los más importantes pH, temperatura, humedad, entrada de luz solar y oxígeno.

- Control de pH

Los microorganismos eficientes contienen bacterias fotosintéticas, ácido lácticas y levaduras que necesitan de un pH ácido para su correcto desarrollo y multiplicación, por esta razón se controló el pH del lodo antes y durante el tratamiento para asegurar la supervivencia de los microorganismos dentro del biofiltro.

La lectura del pH se tomó con la ayuda de tiras de papel indicadoras de pH. Este parámetro se tomó sumergiendo la tira sobre una muestra acuosa fresca de lodo, cada semana y se comparó el color obtenido con la escala de colores que viene contenida en el empaque para comparar su grado de acidez o alcalinidad.

- Control de temperatura

El monitoreo de la temperatura se realizó diariamente con la ayuda de un termómetro digital, teniendo en cuenta que a temperaturas altas los microorganismos actúan con mayor eficiencia, por lo que este parámetro debe oscilar de 30 – 45 °C durante todo el tratamiento. Para mantener una estabilidad adecuada dentro de la unidad de análisis, y considerando que el clima del lugar es variable, se montó un invernadero, que ayudó a controlar dicho parámetro.

- Control de humedad

Este parámetro es importante ya que el lodo debe mantenerse siempre húmedo dentro del biofiltro, ya que si la humedad baja, los microorganismos no se desarrollan por no tener el agua suficiente para su metabolismo, por lo que se considera que la humedad debe estar entre 50 – 70%.

Para determinar la humedad se realizó una prueba empírica. Se tomó con la mano una muestra de lodo del centro del biofiltro y se apretó fuertemente el mismo, determinando así que la humedad se encontraba en los rangos correctos, teniendo en consideración que este proceso se lo realizó todos los días por tres semanas.

- Entrada de luz solar

Este tratamiento involucra principalmente bacterias fototróficas que sintetizan sustancias útiles a partir de materia orgánica y gases tóxicos, usando la luz solar y el calor del lodo como energía. Por esta razón se tomó muy en cuenta que la unidad de análisis se mantenga en un lugar estratégico en el que pueda recibir los rayos del sol y obtenga mayor visibilidad de luz.

- Control de oxígeno

Para que la materia orgánica se descomponga por la actividad de los microorganismos aerobios en el biofiltro, se necesita de oxígeno, ya que sin esta condición, la materia orgánica se pudre produciendo mal olor. Para evitar que esto suceda, se incorporó una manguera con agujeros simétricos en cada extremo de la unidad, permitiendo así el paso de oxígeno hacia el fondo del lodo y un mejor control de la aireación.

2.7.5. *Quinta etapa: Muestreo del agua tratada.*

Durante el tratamiento con microorganismos eficientes, se tomaron tres muestras de agua filtrada, cada una con 3 repeticiones. El muestreo se realizó en frascos de plástico de 1 litro, rotulados de la siguiente manera: M1 (EM), para muestra 1 del tratamiento; M2 (EM), muestra 2 del tratamiento y M3 (EM), muestra 3 del tratamiento.

El primer muestreo se realizó en la semana uno de tratamiento, se tomó la muestra de agua filtrada, con 3 repeticiones que fueron enviadas al laboratorio CESTTA para el respectivo análisis de la concentración presente de ácido sulfhídrico y se realizaron monitoreos adicionales de pH, conductividad y turbidez, para evaluar la incidencia de dichos parámetros en la reducción de H_2S , con los procedimientos indicados en la tabla 2-2.

Se realizaron dos muestreos más, uno a los 11 días del primer muestreo, y el otro a los 11 días después del segundo muestreo, repitiéndose los mismos análisis y registrando los datos de H_2S , pH, conductividad y turbidez.

Tabla 3-2: Métodos de análisis

Parámetros	Unidades	Método
H_2S	mg/L	Standard Methods No 4500-S2-D
pH	Und.	Standard Methods No 4500-HB
Conductividad	mS/cm	Standard Methods No 2510-B
Turbidez	NTU	Standard Methods No 2130-B

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los datos y resultados obtenidos en base a la metodología planteada y al método de recolección aplicado a lo largo de la investigación, permitiendo realizar el análisis respectivo de los mismos, y cuya información arrojada será la base para la construcción de las conclusiones a las que se llegó con el trabajo investigativo.

3.1. Proceso de activación e inoculación de microorganismos eficientes.

El producto EM•1 contiene una mezcla de microorganismos benéficos en estado de latencia que no han sido modificados genéticamente y su contenido se muestra en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Contenido mínimo de UFC del producto EM•1

Contenido mínimo	UFC/mL
Bacteria fototróficas	10^3
Bacterias ácido lácticas	10^4
Levaduras	10^3

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Durante los 7 días en los que se llevó a cabo su activación fue necesario realizar mediciones diarias de pH para controlar el estado fermentativo de los microorganismos eficientes, ya que para su aplicación es primordial tener un pH menor a 4.0, además de otras características importantes como el olor y color.



Figura 11-3: Medición cuantitativa y cualitativa de parámetros en la activación de EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Tabla 5-3: Control de parámetros para la activación de microorganismos eficientes

Tiempo (días)	pH	Olor	Color
1	5,33	Dulce	Café oscuro
2	5,00	Dulce	Café oscuro
3	4,77	Dulce	Café claro
4	4,55	Agridulce agradable	Café claro
5	3,51	Agridulce agradable	Café anaranjado
6	3,35	Agridulce agradable	Café anaranjado
7	3,33	Agridulce agradable	Café anaranjado

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

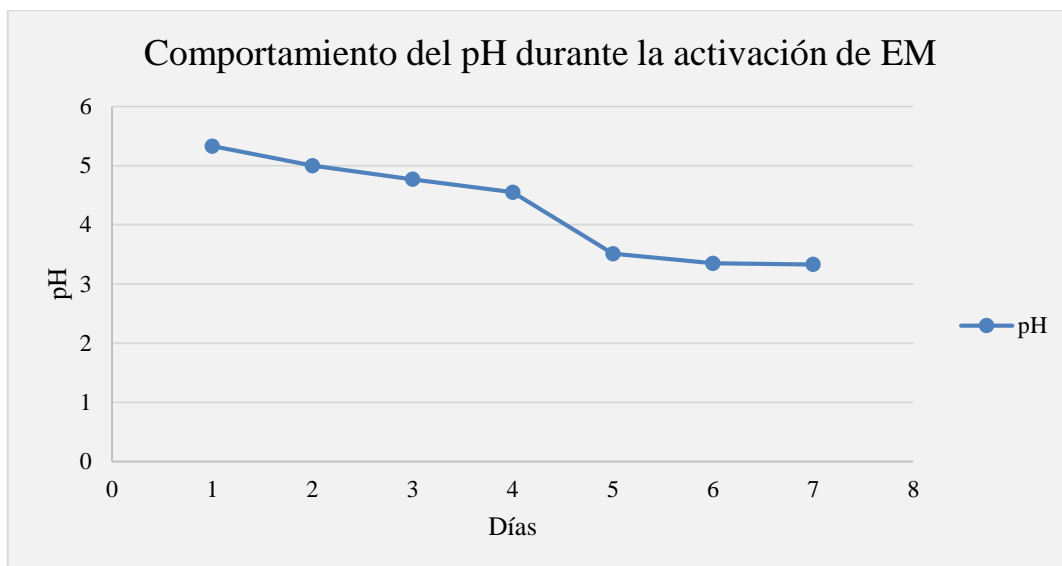


Gráfico 1-3: Comportamiento del pH durante la activación de EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

En el gráfico 1-3 se visualiza el comportamiento del pH durante los 7 días de activación de los microorganismos eficientes, en donde se puede ver que se cumple una relación inversamente proporcional, ya que mientras más días pasan para su fermentación el pH disminuye. A partir del cuarto día la fermentación se acelera mostrando una disminución de pH significativa de 4,55 mientras que al séptimo día alcanza un valor de 3,33. Por lo tanto el producto EM al día 7 cumple con un rango de acidez menor a 4,00 considerado como óptimo para su activación y apto para su utilización. En cuanto a sus características organolépticas se observó un cambio significativo de color de café oscuro a café anaranjado y un olor dulce a agridulce agradable.

3.2. Caracterización microbiológica del lodo activado.

Mesófilos aerobios, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras fueron los parámetros microbiológicos analizados en el lodo activado. Se realizó un análisis antes de inocular los microorganismos eficientes en el lodo que permitió identificar la presencia tanto de patógenos como de microorganismos benéficos y uno después de los 15 días de haber empezado con el tratamiento, encaminados a evaluar el comportamiento que tuvieron los EM ante dichos parámetros. El resultado se muestra en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Parámetros microbiológicos evaluados en el lodo activado.

Tiempo (días)	(UFC/mL)				
	Mesófilos aerobios	Coliformes totales	Coliformes fecales	Mohos	Levaduras
1	580	340	Presencia	Presencia	9200
15	5200	110	Ausencia	Ausencia	10900

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

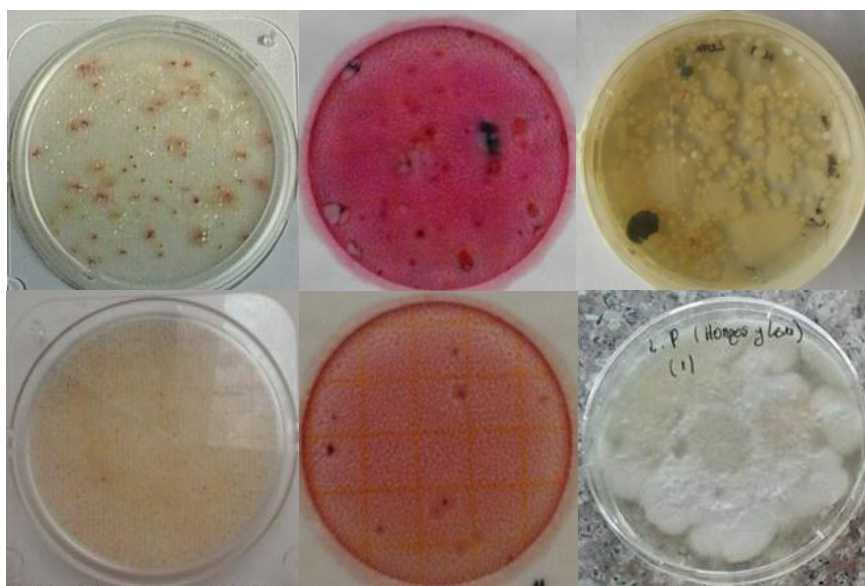


Figura 12-3: Crecimiento en placa de mesófilos, coliformes totales, fecales, mohos y levaduras.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

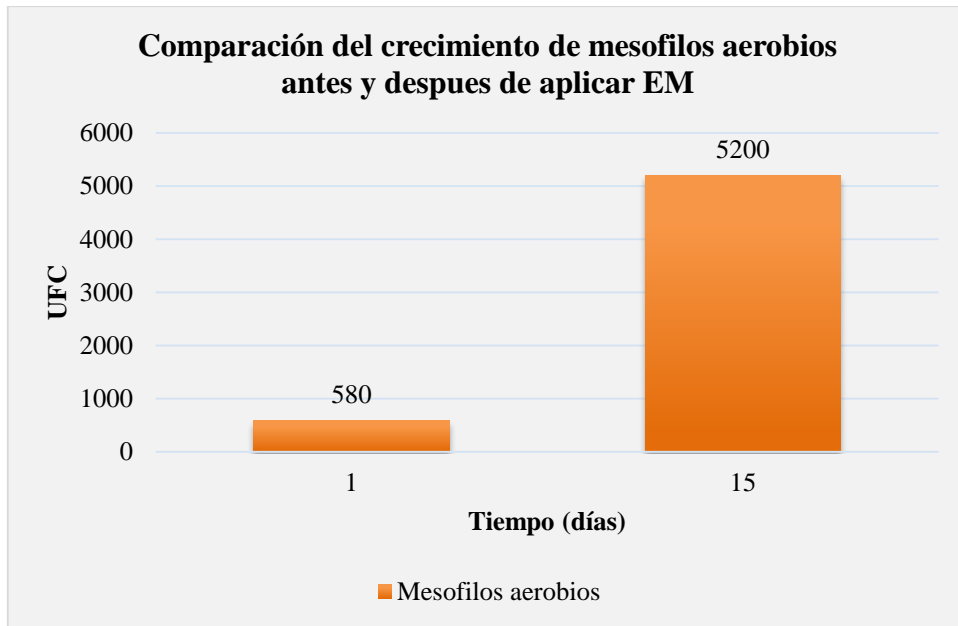


Gráfico 2-3: Comparación del crecimiento de mesófilos aerobios antes y después de aplicar EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

De acuerdo a los resultados obtenidos en el gráfico 2-3, al realizarse el análisis microbiológico antes de empezar el tratamiento con EM se obtuvo un total de 580 UFC/mL, considerándose bajo en comparación con el día 15 en donde se obtuvo un crecimiento significativo de mesófilos aerobios, reportando un valor de 5200 UFC/mL. La explicación de dicho crecimiento es que, al inocular el EM en el lodo utilizado como sustrato, se aumenta la carga microbiana, ya que este producto contiene microorganismos que requieren oxígeno y temperaturas de 30 a 45°C para su supervivencia, condiciones tomadas en cuenta y existentes en el tratamiento.

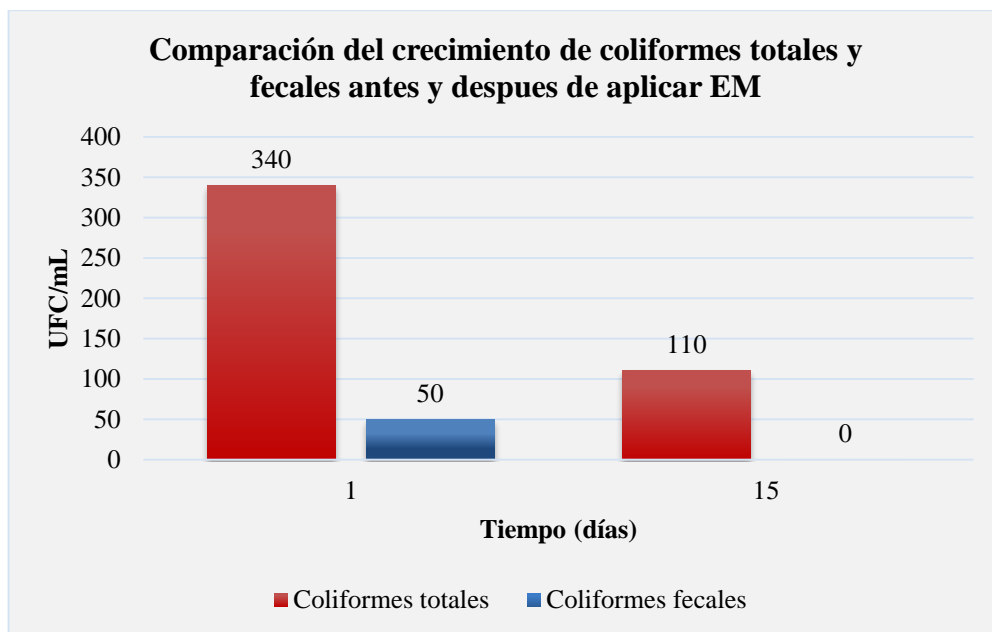


Gráfico 3-3: Comparación del crecimiento de coliformes totales y fecales antes y después de aplicar EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

En este caso como muestra en el gráfico 3-3, la presencia de coliformes totales en el día 1 es de 340 UFC/mL, pero disminuye a 110 UFC/mL al día 15 de haber aplicado el tratamiento, lo que indica que utilizar microorganismos eficientes en el lodo confiere alguna ventaja para la reducción de este parámetro microbiológico, considerado como indicador de contaminación.

En cuanto a los coliformes fecales, al día 1 se reporta un crecimiento de 50 UFC/mL, mientras que al día 15 no existe crecimiento alguno, lo que demuestra que aplicar microorganismos eficientes en el lodo es efectivo para reducir coliformes fecales que son considerados como microorganismos patógenos.

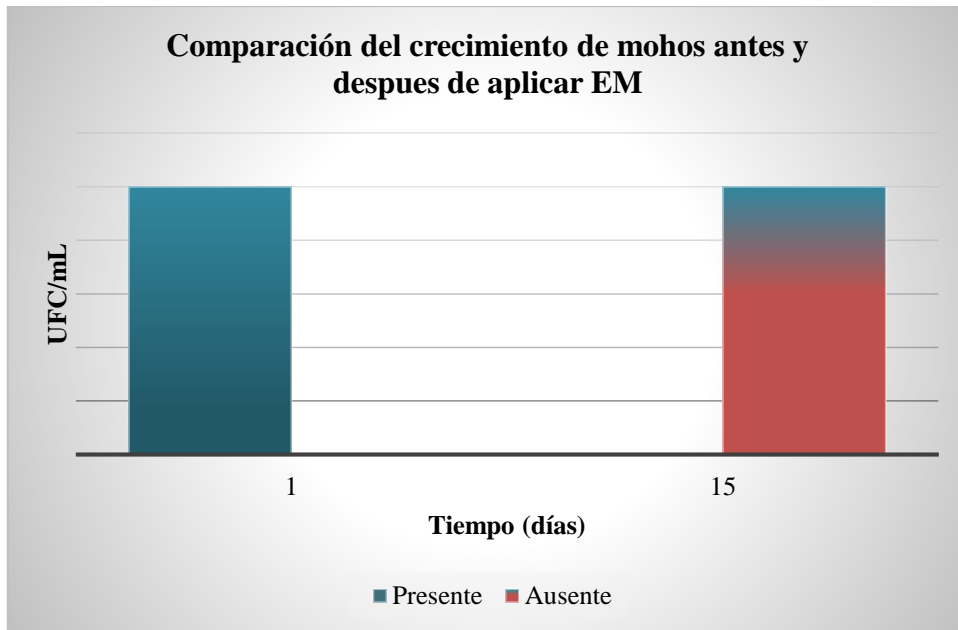


Gráfico 4-3: Comparación del crecimiento de mohos antes y después de aplicar EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

El análisis en este caso es cualitativo, permitiendo identificar la presencia o ausencia de mohos como se muestra en el gráfico 4-3. En el día 1 se observa que los mohos están presentes y en el día 15 ausentes, debido a que el producto EM contribuye al aumento de las condiciones aptas para el crecimiento de microorganismos benéficos en mayor medida, evitando la proliferación de mohos.

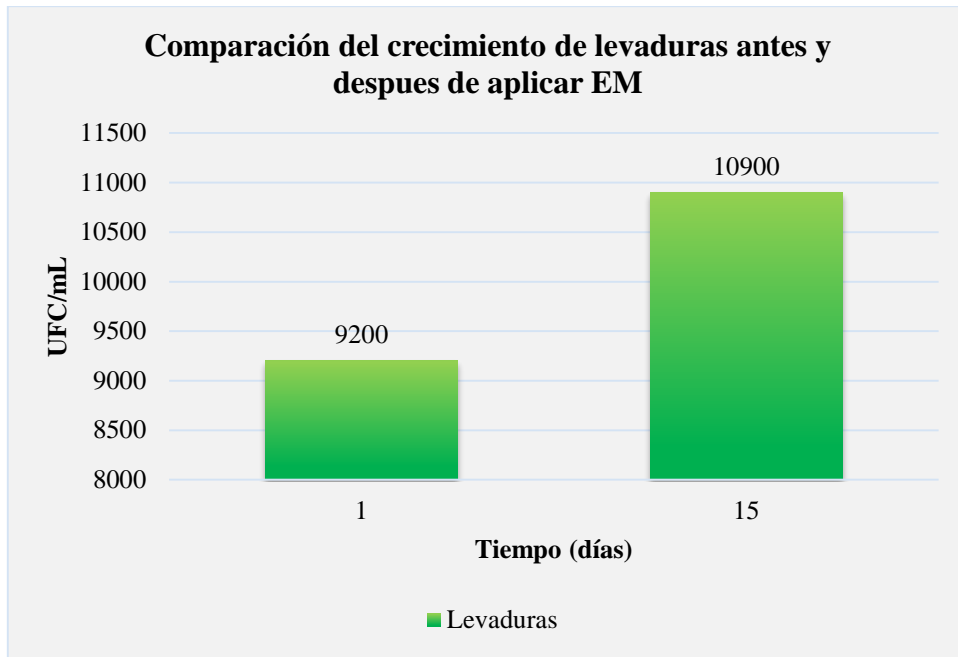


Gráfico 5-3: Comparación del crecimiento de levaduras antes y después de aplicar EM.
Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Existe un crecimiento elevado de levaduras al quinceavo día en comparación al día uno, como se observa en el gráfico 5-3, debido a que el producto EM contiene levaduras como parte de su mezcla de microorganismos benéficos, y que al ser aplicado al lodo y en condiciones aptas para su desarrollo, aumenta su contenido microbiano de manera muy significativa.

3.3. Control de condiciones aptas para los microorganismos eficientes en el lodo activado.

Los resultados descritos en la tabla 7-3 son los datos de temperatura y pH monitoreados diariamente a lo largo del tratamiento que favorecieron al desarrollo de los tres tipos de microorganismos contenidos en el producto EM activado; mientras que otros parámetros importantes como humedad, entrada de luz solar y oxígeno se controlaron asegurando la existencia de dichos factores en cantidades suficientes y adecuadas.

Tabla 7-3: Monitoreo diario de pH y T° para el desarrollo de microorganismos eficientes en el lodo activado.

N° semanas	Temperatura °C	Ph
Primera semana	29,5	4,6
	29,17	4,4
	31	4,4
	31	4,9
	28,10	5,2
	31,9	4,7
	32,13	4,9
Segunda semana	32,20	4,9
	33,16	4,7
	28,7	5,5
	29,5	6,4
	31,6	6,1
	30,13	6,1
	29,13	6,3
Tercera semana	28,10	5,9
	31,10	5,6
	32,13	5,5
	31,9	4,8
	31,9	4,9
	33,9	4,4
	33,7	4,4

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

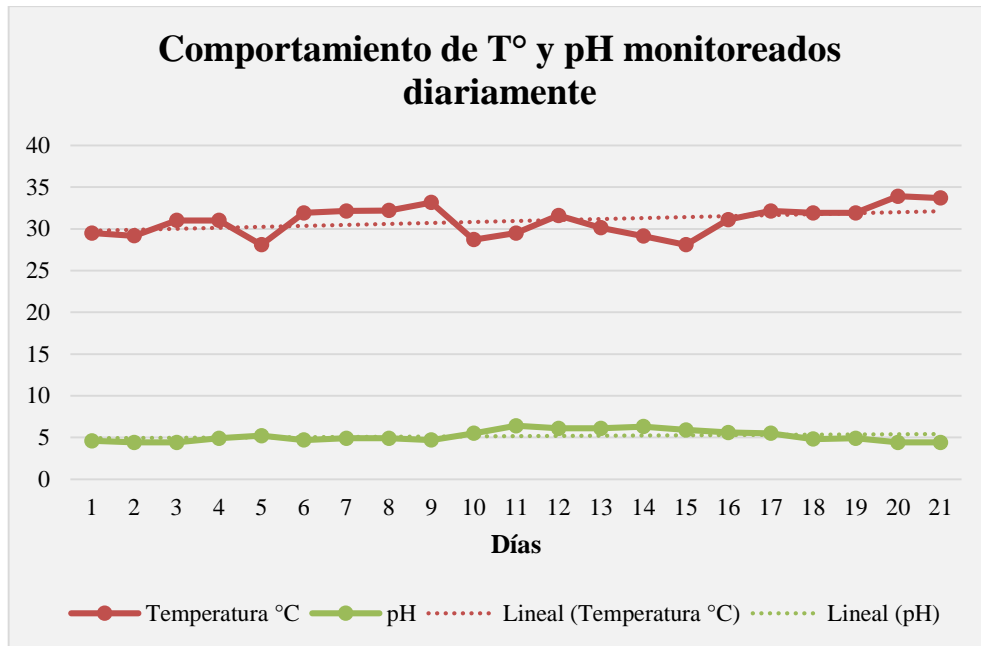


Gráfico 6-3: Comportamiento de T° y pH monitoreados diariamente durante 21 días.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

El gráfico 6-3 recoge los resultados del comportamiento de pH y temperatura durante los 21 días en los que se llevó a cabo su control. La temperatura a los primeros días indica variaciones leves, mientras que a partir del día 5 se visualizan variaciones más significativas, la línea de tendencia muestra que la temperatura aumenta y disminuye a un ritmo constante. Por lo tanto, a pesar de las variaciones ambientales externas, se observa una tendencia a mantener condiciones estables de temperatura cálida de alrededor de 30 – 35°C durante el tratamiento.

En cuanto al pH tiende a mantener un rango de acidez constante, comprendida entre un valor de 4-5, con una tendencia lineal durante los 21 días de tratamiento, lo que hace del sustrato un medio adecuado para el crecimiento de microorganismos fotosintéticos, ácido láctico y levaduras.

3.4. Muestreo del agua residual tratada con microorganismos eficientes

Los análisis tanto de H_2S como de pH, conductividad y turbidez se realizaron a la salida del biofiltro, durante tres semanas, tiempo en el que se llevó a cabo el tratamiento, empezando con el muestreo del agua residual a tratarse el 16/01/2017 hasta el 07/02/2017 fecha en la que se realizó el último muestreo del agua residual tratada. Las muestras fueron debidamente rotuladas y transportadas al laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias y al Centro de Servicios Técnicos CESTTA para sus análisis respectivos.



Figura 13-3: Muestras de agua residual tratada.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Los datos fueron registrados cada semana y representados en las tablas 8-3, 9-3 y 10-3, permitiendo el análisis estadístico del factor, frente a las variables independientes, para determinar el porcentaje de remoción de H_2S en las aguas residuales, al finalizar el tratamiento (semana 3) y evaluar la efectividad de utilizar microorganismos eficientes para lograr dicho objetivo.

Semana 1

Tabla 8-3: Resultados de los análisis del agua residual M1 (EM).

Tiempo	Muestras	H_2S (mg/L)	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbidez (NTU)
Semana 1	M1(EM)	3,68	7,35	2,18	156
		3,60	7,29	2,20	151
		2,23	7,34	2,21	150

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Semana 2

Tabla 9-3: Resultados de los análisis del agua residual M2 (EM).

Tiempo	Muestras	H_2S (mg/L)	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbidez (NTU)
Semana 2	M2(EM)	1,57	5,44	3,29	104
		1,44	5,47	3,33	98
		1,27	5,46	3,31	98

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Semana 3

Tabla 10-3: Resultados de los análisis del agua residual M3 (EM).

Tiempo	Muestras	H ₂ S (mg/L)	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbidez (NTU)
Semana 3	M3(EM)	0,54	5,50	5,47	44
		0,46	5,49	5,46	40
		0,34	5,47	5,50	41

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

3.5. Análisis estadístico – SPSS

Con el fin de comprobar si el tratamiento con microorganismos eficientes (factor), durante las tres semanas de duración, tuvo resultados favorables en la remoción de ácido sulfhídrico de las aguas residuales se llevó a cabo el análisis estadístico mediante el programa SPSS, como se muestra a continuación:

La tabulación de datos y análisis estadístico se realizó mediante la aplicación de pruebas no paramétricas Kolmogorov-Smirnov de una muestra, permitiendo probar las hipótesis de normalidad y ANOVA de un factor con un nivel de significancia de 0.05, en el análisis de los datos del diseño experimental, para contrastar las medias.

Tabla 11-3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

	H ₂ S (mg/l)	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbidez (NTU)
N	9	9	9	9
Media	1,6811	6,0900	3,6611	98,3333
Parámetros normales ^{a,b} Desviación típica	1,26542	,92779	1,44458	48,42778
Absoluta	,202	,404	,257	,202
Diferencias más extremas Positiva	,202	,404	,257	,202
Negativa	-,158	-,242	-,227	-,195
Z de Kolmogorov-Smirnov	,605	1,213	,772	,607
Sig. asintót. (bilateral)	,858	,106	,590	,855

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Al realizar el análisis de las variables mediante la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para una muestra, se observa que los valores de significancia de las variables H_2S ($p=0.858$), pH ($p=0.106$), conductividad (0.590) y turbidez ($p=0.855$) presentan valores mayores de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, es decir no hay diferencias significativas. Por lo tanto, se concluye que las variables analizadas provienen de una distribución normal y por tanto se podrán utilizar técnicas paramétricas de análisis de datos para realizar los contrastes de hipótesis a partir de estas variables.

Tabla 12-3: Análisis descriptivo de la variable H_2S por semanas de tratamiento con EM.

Descriptivos

H2S

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	3	3,1700	,81505	,47057	1,1453	5,1947	2,23	3,68
2	3	1,4267	,15044	,08686	1,0529	1,8004	1,27	1,57
3	3	,4467	,10066	,05812	,1966	,6967	,34	,54
Total	9	1,6811	1,26542	,42181	,7084	2,6538	,34	3,68

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

En la tabla 12-3, se muestra las medias del H_2S en cada semana de tratamiento con microorganismos eficientes, en la que se observa que tienen diferencias de una semana en relación a la otra, siendo la media de la semana 3 la que presenta un valor menor en comparación de la semana uno y dos. En cuanto a la desviación típica se presentan similares en la semana 2 y 3, a excepción de la semana uno en donde se observa una desviación típica menor. El intervalo de confianza del 95% muestra estimaciones por intervalos de la ubicación de la verdadera media poblacional del H_2S en relación con cada una de las semanas de tratamiento, con los valores mínimos y máximos del tiempo en semanas que se llevó a cabo el tratamiento.

Tabla 13-3: Análisis de Anova de un factor.

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H ₂ S	Inter-grupos	11,416	2	5,708	24,566	,001
	Intra-grupos	1,394	6	,232		
	Total	12,810	8			
pH	Inter-grupos	6,883	2	3,442	6883,400	,000
	Intra-grupos	,003	6	,001		
	Total	6,886	8			
Conductividad	Inter-grupos	16,692	2	8,346	23473,625	,000
	Intra-grupos	,002	6	,000		
	Total	16,694	8			
Turbidez	Inter-grupos	18716,667	2	9358,333	1238,603	,000
	Intra-grupos	45,333	6	7,556		
	Total	18762,000	8			

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

En este caso, Anova de un factor está determinado por el valor de significancia, que es aproximadamente 0 en el análisis de las variables H_2S ($p=0.001$), pH ($p=0.000$), conductividad (0.000) y turbidez ($p=0.000$); por lo tanto, al tener un resultado de $p<0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que muestra que existen diferencias entre las semanas de tratamiento, con al menos un par de comparaciones de todas las posibles. Esto quiere decir que las semanas influyen sobre la concentración de ácido sulfhídrico, pH, conductividad y turbidez en las aguas residuales a tratarse.

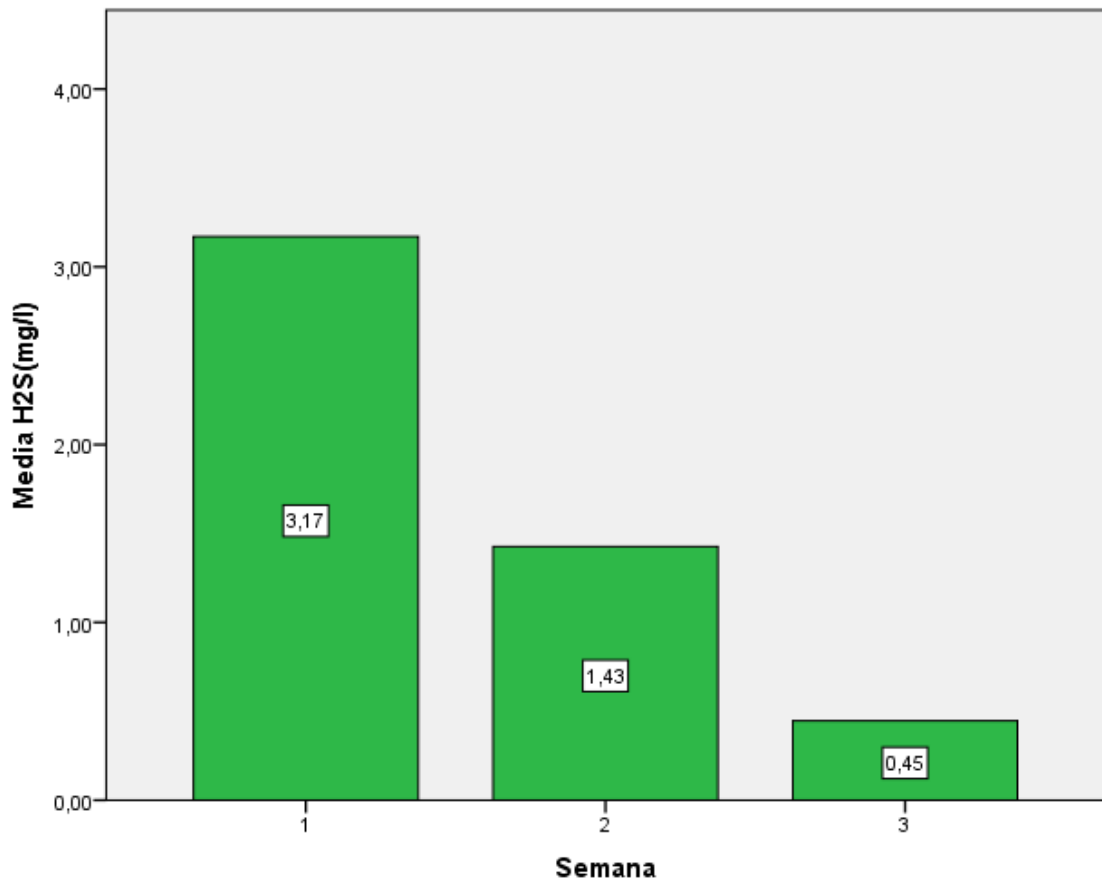


Gráfico 7-3: Media de la concentración de H_2S durante tres semanas de tratamiento con EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

En la gráfica 6-3 se puede observar la media de la concentración de H_2S analizado en aguas residuales de una industria procesadora de alimentos, en relación a las 3 semanas de tratamiento con microorganismos eficientes. En la semana tres se presenta un valor de 0,45 mg/L de H_2S (TRH=12 horas), considerándose significativamente bajo en comparación de la semana uno y dos, con valores de 3,17 y 1,43 mg/L respectivamente, con un TRH de 6 horas.

Concluyendo que a pesar de que en las tres semanas de tratamiento existió reducción de la concentración de H_2S , en la semana uno su reducción no fue tan notoria, debido a que los microorganismos fueron poblando y adaptándose al medio, a pesar de que en la semana dos ya se observan cambios de concentración muy notorios, la semana tres fue la que mayor impacto tuvo, logrando reducir de una concentración inicial de 3,17 mg/L a una concentración final de 0,45 mg/L, obteniéndose un porcentaje de remoción del 70,35%; lo que nos indica que probablemente el biofiltro en el transcurso del tiempo alcanza mayor estabilidad y mejor crecimiento

microbiológico en la biopelícula, especialmente de bacterias sulfato-reductoras, bacterias fotosintéticas, ácido lácticas y levaduras, que aumentan su carga microbiana gracias a la materia orgánica nativa del lodo activado, siendo muy viable para que dicha materia orgánica sea retenida en las capas del biofiltro, evitando ser arrastrada al hacer pasar una nueva carga de agua residual por el biofiltro.

A continuación, se presentan y analizan parámetros que estuvieron directamente relacionados con la reducción de ácido sulfhídrico, tales como: pH, conductividad y turbidez, cuya explicación se realizará en base a los datos registrados y tabulados en las tablas 8-3, 9-3 y 10-3, durante las tres semanas de tratamiento con microorganismos eficientes.

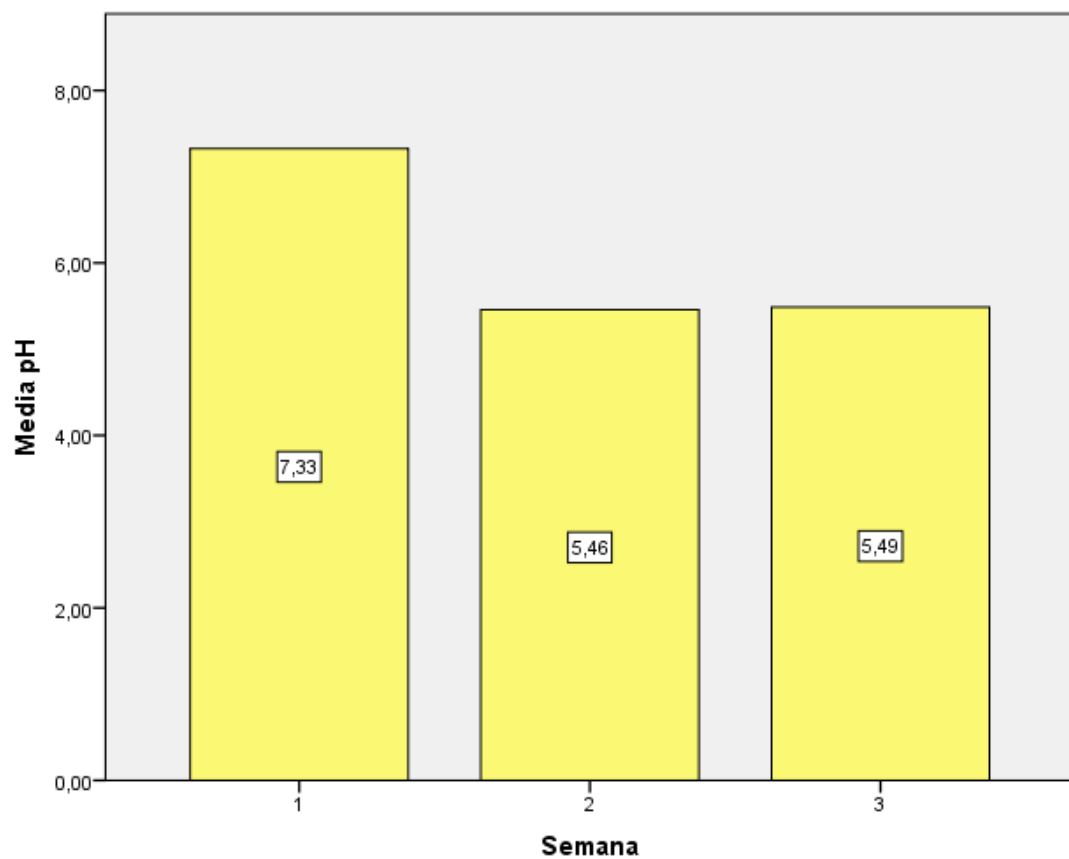


Gráfico 8-3: Media del pH durante las tres semanas de tratamiento con EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

El rango de pH fue un parámetro determinante dentro del tratamiento con microorganismos eficientes durante las tres semanas de investigación, ya que dicho parámetro es un factor limitante para que las bacterias sulforreductoras se reproduzcan.

Como se observa en el gráfico 8-3, el pH en la primera semana de tratamiento se presenta con un valor de 7,33 considerándose en un rango de neutralidad con tendencia a básico, mientras que en la semana dos y tres se muestra una reducción significativa de los valores de pH con respecto a la semana uno, manteniendo en estas dos últimas semanas un rango ácido, lo que tiene mucho sentido, ya que, el pH tiene una relación directamente proporcional con el porcentaje de remoción de H_2S ; a medida que el porcentaje de remoción aumenta, el pH disminuye. Sin embargo, a pesar que el pH considerado como óptimo (2,00) para el crecimiento de bacterias sulforreductoras no fue alcanzado, se mantuvo un pH ácido que contribuyó al crecimiento de las bacterias contenidas en el producto EM que fueron las que produjeron enzimas y quelantes que contribuyeron además de la reducción de ácido sulfhídrico en las aguas residuales, a la reducción de olores y patógenos tanto en el agua como en el lodo.

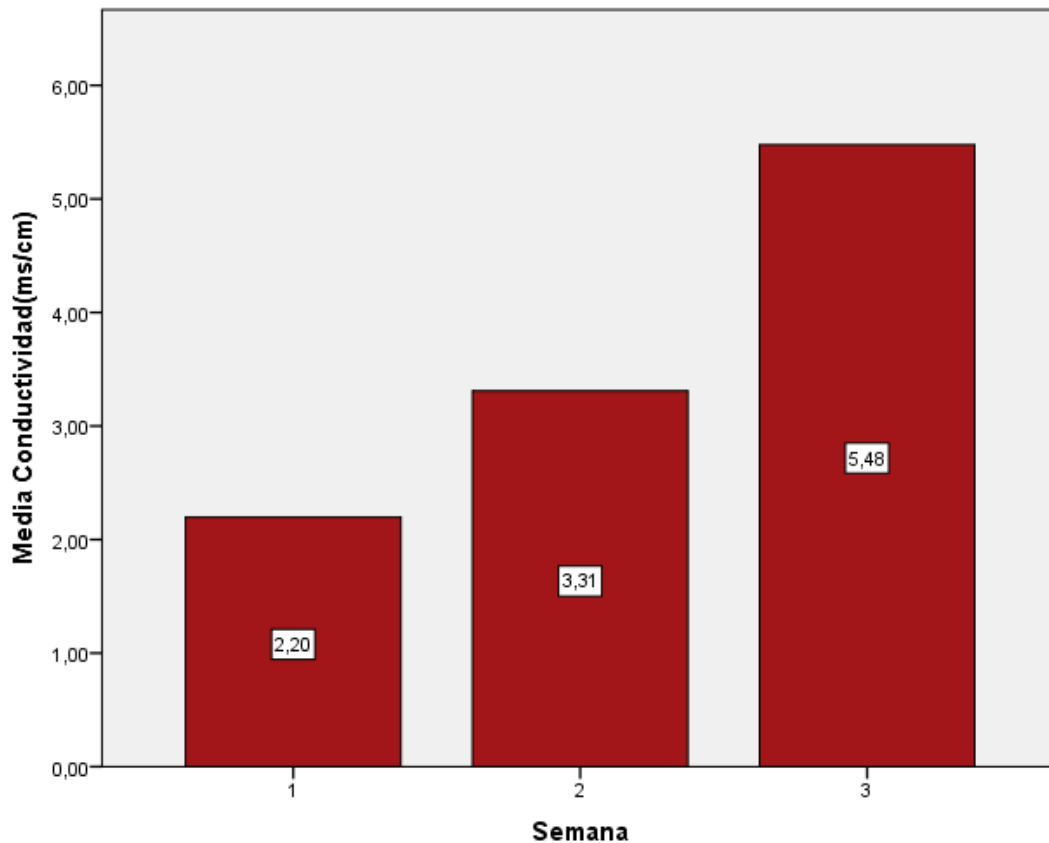


Gráfico 9-3: Media de la conductividad durante las tres semanas de tratamiento con EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

A diferencia del pH y turbidez, analizados en esta investigación, la conductividad es el único parámetro que aumentó durante el tratamiento con EM, como se observa en el gráfico 9-3.

En la semana uno la conductividad presenta un valor de 2,20 mS/cm, en la semana dos 3,31 mS/cm y en la semana tres 5,48 mS/cm; sin embargo, debido a que este aumento en la conductividad no afectó en la reducción de ácido sulfhídrico, se deba probablemente a que la actividad de los microorganismos contenidos en el producto EM contribuyeron al incremento de nutrientes, iones en solución y transmisión de calor debido a la misma temperatura ambiental, ya que al aumentar la concentración de iones también aumenta la conductividad del agua tratada.

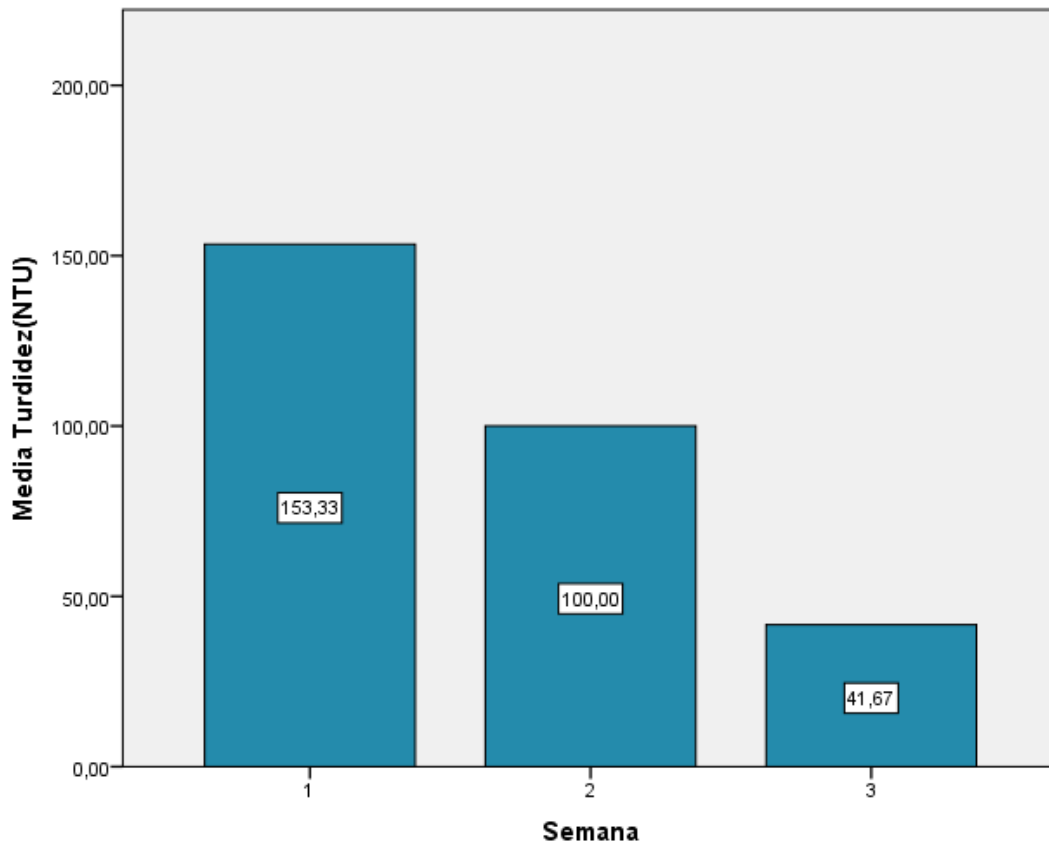


Gráfico 10-3: Media de la turbidez durante las tres semanas de tratamiento con EM.

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

Al observar el gráfico 10-3, la turbidez es alta en la primera semana con un valor de 153,33 NTU, sin embargo su valor se reduce en la segunda y tercera semana a 100 NTU y 41,67 NTU respectivamente. La reducción de la turbidez en el tratamiento utilizado, muestra el crecimiento de la biopelícula y por ende el desarrollo y reproducción de los microorganismos dentro del biofiltro.

Cuando la reducción de la turbidez fue superior al 50% a partir de la segunda semana, se supo que el desarrollo de la biopelícula era el adecuado y por lo tanto, se determinó que a partir de los 15 días de haber empezado el tratamiento, existe mayor actividad de los microorganismos, posiblemente a que su adhesión estaba bien desarrollada, lo que explica la reducción significativa de la concentración de H_2S en la semana tres del tratamiento.

CONCLUSIONES

Terminada la investigación se procede a dictaminar las siguientes conclusiones:

- Se determinó que los microorganismos contenidos en el producto EM, actúan en el lodo activado, aumentando la capacidad de formar la biopelícula, y el crecimiento de bacterias sulfurreductoras encargadas de la remoción del H_2S en las aguas residuales industriales.
- Para asegurar el desarrollo y supervivencia de los microorganismos eficientes, sobre el lodo activado, se controló durante la investigación un pH ácido con rangos comprendidos entre 5,5-6,5 Und, una temperatura cálida de 30-45°C, humedad del 60%, presencia de oxígeno y luz solar.
- Se analizó la concentración de ácido sulfhídrico de las aguas residuales industriales, antes y después del tratamiento con microorganismos eficientes, mostrando una concentración inicial de 3,68 mg/L y una concentración final de 0,45 mg/L, obteniendo mayor porcentaje de remoción en la tercera semana de tratamiento, con un valor del 70,35%. El TRH utilizado en la tercera semana fue de 12 horas, por lo que se concluye que manejar mayores tiempos de retención, incrementa la capacidad de remoción en el tratamiento.
- Se verificó que la utilización de microorganismos eficientes en aguas residuales, para la remoción de H_2S , resulta rentable por sus tiempos cortos de actuación y bajos costos de aplicación, además que, al ser un tratamiento natural, no causa ningún daño en el medio ambiente.
- En el transcurso de la investigación se reveló que el lodo utilizado como sustrato para los EM, redujo la cantidad de patógenos y aumentó el contenido de nutrientes presentes al inicio del tratamiento, concluyendo que el lodo residual puede ser reutilizado para abonar el suelo en la agricultura.

RECOMENDACIONES

- Para la activación de los microorganismos eficientes, es necesario utilizar agua libre de cloro, ya que podría reducir su capacidad de actuación en el tratamiento.
- Si el pH del EM activado no está por debajo de 4.00 o si el olor recuerda a algo podrido, es recomendable desechar el producto, ya que es muestra que existió contaminación.
- El recomendable utilizar tiempos de retención hidráulica mínimo de 6 horas, y máximo de 12 horas, para que los microorganismos presentes en el biofiltro aumenten su capacidad de actuación y existan resultados más favorables en la remoción de H_2S en las aguas residuales.
- Fomentar la investigación de nuevas tecnologías amigables con el ambiente, para la reducción del gasto económico proveniente de tratamientos en el vertido de residuos inorgánicos generados por las industrias, innovando en la prevención de la contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

- A.P.A.** *Ficha toxicológica del ácido sulfhídrico*. [en línea]. Madrid, España: 2009. [Consulta: 22 Diciembre 2016]. Disponible en: <http://documentacion.apa.es/pdfs/fichas/F009.pdf>
- ALBA, Antonio; et al. Juana:** *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: Elecé Industria Gráfica, 2006, pp.1.
- AMBIENTUM.** "Clasificación de aguas residuales industriales". *Ambientum* [en línea], 2002, (Colombia), pp.1. [Consulta: 08 Diciembre 2016]. Disponible en: http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLS FCCNG1_imprimir.htm
- ARRIAGADA, Alonso.** *Tecnologías para el tratamiento de olores en aguas servidas*. [En línea] (Tesis Pregrado). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile. 2008, pp. 8. [Consulta: 06 Marzo 2017]. Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/arriagada_am/sources/arriagada_am.pdf
- ATSDR.** *Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ácido sulfhídrico*. [En línea]. Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos, 1999. [Consulta: 26 Enero 2017]. Disponible en: [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/5\)%C3%81CIDO%20SULFH%C3%8DDRICO.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/5)%C3%81CIDO%20SULFH%C3%8DDRICO.pdf)
- CARILLO, Dawis; & HUACOLLO, Marco.** "Tratamiento de las aguas residuales del comité de regantes de Arunta". *BIOEM Tacna*, (2011), (Perú) pp. 17.
- CARUS CORPORATION.** *Sulfuro de hidrógeno en aguas residuales* [en línea]. Estados Unidos: John Venegoni, 2016. [Consulta: 26 Enero 2017]. Disponible en: <http://es.www.caruscorporation.com/page/water/wastewater/hydrogen-sulfide>
- CRITES, Ron; & TCHOBANOGLOUS, George.** *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. 1ª ed. Bogotá - Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A., 2000, pp. 221

CUBILLOS, Armando. *Parámetros y características de las aguas residuales* [en línea]. Lima - Perú: CIDIAT, 2009. [Consulta: 08 Diciembre 2016]. Disponible en:
<http://bvspers.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>

EM RESEARCH ORNGANIZATION. *Guia de la Tecnología EM* [en línea]. Costa Rica: EMPROTEC, 2016. [Consulta: 20 Enero 2016]. Disponible en:
<file:///C:/Users/PC/Desktop/Boletin%20Tecnologia%20%20EM.pdf>

GALICIA, Adriana; et al. Irene: "Evaluación del proceso de remoción de H₂S utilizando un biofiltro, en el proceso de espesadores de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Aapulco". *AIDIS* [en línea], 2002, (México), pp.5. [Consultado: 11 Enero 2017]. Disponible en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-042.pdf>

GALVIS, Juliana; & RIVERA, Ximena. *Caracterización físico química y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit de la ciudad de Pereira*, [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Pereira. 2013, pp. 33-34. [Consultado: 01 Febrero 2017]. Disponible en:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3898/62839G182.pdf?sequence1>

HARVEY, Blanch; et al. Daniel. *Comprehensive biotechnology, The practice of biotechnology: current commodity products*. 3^a ed. United States: Pergamon Press, 1985, pp. 250.

HIGA, Teuro; & CHINEN, Nobusama. "EM Treatments of Odor, Waste Water, and Environment Problems". *College of Agriculture*, vol 3, n° 2408 (1998), (United States) pp. 10.

HIGA, Teuro; & PARRA, James. "Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment". *International Nature Farming Research Center*, (1994), (Atami - Japan) pp. 7.

- HIGUERA, Oscar; et al. Luis.** "Diseño de un biofiltro para reducir el contenido de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido del cuero". *Redalcy*, (2009), (Colombia) pp. 13.
- HOLT, John.** *Bergey's manual of determinative bacteriology*. 9ª ed. Philadelphia: Lippincott Williams y Wilkins Eds, 2000, pp. 787.
- LENNTECH.** *Componentes de los lodos* [en línea]. Estados Unidos: Lenntech BV, 1998. [Consulta: 01 Febrero 2017]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/lodos-componentes.htm>
- LESON , Gero; & SMITH , Barbara.** "Petroleum environmental research forum field study on biofilters for control of volatile hydrocarbons". *Journal of Environmental Engineering*, vol 123, n°6 (1997), (California) pp. 556-562.
- LESON , Gero; & WINER, Arthur.** "Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions". *Journal of Air Waste Management Association*, vol 41, n° 8 (1991), (California) pp. 1045-1054.
- MADIGAN, Michael; et al. Jack.** *Brock Biología de los Microorganismos*. 10ª ed. Madrid-España: ADDISON-WESLEY, 2006, pp.11.
- METCALF, Eddy.** *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª ed. México D.F: Mc Graw Hill Interamericana Editores, 1991, pp.66.
- MORILLO, Grace.** *Reingeniería del proceso de tratamiento de efluentes provenientes de decapado*. [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de ingeniería química, Quito, Ecuador. 2012, pp. 5 [Consulta: 06 Marzo 2017]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/933/1/T-UCE-0017-17.pdf>
- OKUDA, Akiko; & HIGA, Teuro.** *Purification of Waste Water with Effective Microorganisms and its Utilization in Agriculture* [en línea]. Okinawa - Japan: 2005. [Consulta: 9 Marzo 2017]. Disponible en: http://www.emla.com/archivosdeusuario/base_datos/em_purification_waste_water_in_agriculture.pdf

ORGANIC FRUITS. *Tecnología EM™*. [en línea]. San Martín - Perú: Oscar Cubas, 2016.
[Consulta: 27 Diciembre 2016]. Disponible en:
<http://www.organicfruitseirl.com/2016/06/24/tecnologia-em/>

PEREZ, María. *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB)*. [en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental, Cuenca, Ecuador. 2016, pp. 22 [Consulta: 01 Febrero 2017]. Disponible en:
<file:///C:/Users/jjh/Downloads/UPS-CT005868.pdf>

SANGAKKARA. "The technology of Effective Microorganisms - Case studies of application". *Royal Agricultural College*, (2002), (Peradeniya) pp. 1.

SILVA, A; & SILVA, R. "Utilización de microorganismos eficaces, para el tratamiento de aguas negras domesticas por el método de lodos activados". *Fundación Mokishi Okada*, 2 ed (1995), (Japan) pp.35.

SUN S.A. *Microorganismos eficientes en el agua - Aplicaciones* [en línea]. Santiago - Chile: 2016. [Consulta: 26 Enero 2017]. Disponible en: <http://www.sunsa.cl/aplicaciones.html>

SZYMANSKI, Nathan; & PATTERSON, Robert. "Effective Microorganisms (EM) and Wastewater Systems". *University Of New Engly*, (2013), (Australia) pp. 354.

WEBSTER, Tood; et al. Shabbir. "Biofiltration of odors, toxics and volatile organic compounds from publicly owned treatment works". *Environmental progress and sustainable energy*. vol 15, n°3 (1996), (United States) pp. 141-147.

ANEXOS

ANEXO A. Muestreo del agua residual industrial



Realizado por: Lorena Paredes, 2017



Realizado por: Lorena Paredes, 2017

ANEXO B. Construcción del Biofiltro



Realizado por: Lorena Paredes, 2017



Realizado por: Lorena Paredes, 2017



Realizado por: Lorena Paredes, 2017

ANEXO C. Inoculación de microorganismos eficientes en el lodo activado



Realizado por: Lorena Paredes, 2017



Realizado por: Lorena Paredes, 2017


ANEXO D. Registro de la inoculación de EM en el lodo activado durante tres semanas.

N° de días	Fecha	Volumen inoculado	Hora
1	09/01/2017	1 Litro	08:00
1		1 Litro	13:00
1		1 Litro	18:00
2	10/01/2017	1 Litro	08:00
2		1 Litro	13:00
2		1 Litro	18:00
3	11/01/2017	1 Litro	08:00
3		1 Litro	13:00
3		1 Litro	18:00
4	12/01/2017	1 Litro	08:00
4		1 Litro	13:00
4		1 Litro	18:00
5	13/01/2017	1 Litro	08:00
5		1 Litro	13:00
5		1 Litro	18:00
6	14/01/2017	1 Litro	08:00
6		1 Litro	13:00
6		1 Litro	18:00
7	15/01/2017	1 Litro	08:00
7		1 Litro	13:00
7		1 Litro	18:00
8	19/01/2017	1 Litro	08:00
8		1 Litro	13:00
8		1 Litro	18:00
9	19/01/2017	1 Litro	08:00
9		1 Litro	13:00
9		1 Litro	18:00
10	20/01/2017	1 Litro	08:00
10		1 Litro	13:00
10		1 Litro	18:00
11	21/01/2017	1 Litro	08:00
11	22/01/2017	1 Litro	13:00
11		1 Litro	18:00
12	23/01/2017	1 Litro	08:00
12		1 Litro	13:00

12		1 Litro	18:00
13	24/01/2017	1 Litro	08:00
13		1 Litro	13:00
13		1 Litro	18:00
14	25/01/2017	1 Litro	08:00
14		1 Litro	13:00
14		1 Litro	18:00
15	31/01/2017	1 Litro	08:00
15		1 Litro	13:00
15		1 Litro	18:00
16	01/02/2017	1 Litro	08:00
16		1 Litro	13:00
16		1 Litro	18:00
17	02/02/2017	1 Litro	08:00
17		1 Litro	13:00
17		1 Litro	18:00
18	03/02/2017	1 Litro	08:00
18		1 Litro	13:00
18		1 Litro	18:00
19	04/02/2017	1 Litro	08:00
19		1 Litro	13:00
19		1 Litro	18:00
20	05/02/2017	1 Litro	08:00
20		1 Litro	13:00
20		1 Litro	18:00
21	06/02/2017	1 Litro	08:00
21		1 Litro	13:00
21		1 Litro	18:00
TOTAL	21 DÍAS	21 LITROS	

Realizado por: Lorena Paredes, 2017

ANEXO E. Resultados del análisis de ácido sulfhídrico - Semana 1

	CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183
---	---

INFORME DE ENSAYO No: 11
ST: 007-17 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: LA IBERICA
Atn. Lorena Paredes
Dirección: 11 de Noviembre
Riobamba - Chimborazo

FECHA: 25 de Enero del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/01/16 - 11:00
FECHA DE MUESTREO: 2017/01/13 - 15:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/01/16 - 2017/01/25
TIPO DE MUESTRA: Residual
CÓDIGO CESTTA: LAB-A 07-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: MI (EM)
PUNTO DE MUESTREO: Cajas de revisión punto 1
ANÁLISIS SOLICITADO: Ácido Sulfhídrico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Lorena Paredes
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

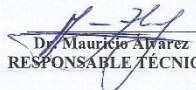
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Ácido Sulfhídrico	PEE/CESTTA/53 Standard Methods No 4500-S2- D	mg/L	3,68	-

OBSERVACIONES:


- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO F. Resultados del análisis de ácido sulfhídrico - Semana 2

 <p>CESTTA SGC</p>	<p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>DEPARTAMENTO : SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Telefax: (03) 3013183</p>
--	--

INFORME DE ENSAYO No:	30
ST:	017-17 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario:	LA IBERICA
Atn.	Lorena Paredes
Dirección:	11 de Noviembre Riobamba – Chimborazo
FECHA:	07 de Febrero del 2017
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2017/01/26 - 10:15
FECHA DE MUESTREO:	2017/01/26 - 09:00
FECHA DE ANÁLISIS:	2017/01/26 - 2017/02/07
TIPO DE MUESTRA:	Residual
CÓDIGO CESTTA:	LAB-A 33-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	M2 (EM)
PUNTO DE MUESTREO:	Biofiltro
ANÁLISIS SOLICITADO:	Ácido Sulfhídrico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Lorena Paredes
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.:25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

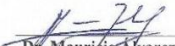
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Ácido Sulfhídrico	PEE/CESTTA/53 Standard Methods No 4500-S2- D	mg/L	1,44	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO G. Resultados del análisis de ácido sulfhídrico - Semana 3



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

INFORME DE ENSAYO No: 43
ST: 037-17 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: INDUSTRIA PROCESADORA DE ALIMENTOS LA IBERICA
Atn. Lorena Paredes
Dirección: 11 de Noviembre
 Riobamba – Chimborazo

FECHA: 20 de Febrero del 2017
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/02/08 – 11:00
FECHA DE MUESTREO: 2017/02/07 – 08:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2017/02/08 – 2017/02/16
TIPO DE MUESTRA: Agua residual
CÓDIGO CESTTA: LAB-A 37-17
CÓDIGO DE LA EMPRESA: M3 (EM)
PUNTO DE MUESTREO: Biofiltro
ANÁLISIS SOLICITADO: Ácido Sulfhídrico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Lorena Paredes
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25.0 °C. T min.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Ácido Sulfhídrico	PEE/CESTTA/53 Standard Methods No 4500-S2- D	mg/L	0,34	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLE DEL INFORME:

[Firma]
Dr. Mauricio Alvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO H. Análisis de pH, conductividad y turbidez



Realizado por: Lorena Paredes, 2017



Realizado por: Lorena Paredes, 2017